



## **SKRIPSI**

**PRODUKSI BAHAN BAKAR CAIR DARI LIMBAH  
PLASTIK POLIPROPILENA DENGAN KO-REAKTAN  
BIODIESEL DARI MINYAK BIJI NYAMPLUNG  
(*CALOPHYLLUM INOPHYLLUM*) MELALUI KONVERSI  
KATALITIK**

**KRISNA ADI NUGROHO  
NRP. 01211440000108**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Hendro Juwono, M.Si.**

**DEPARTEMEN KIMIA  
FAKULTAS ILMU ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**



## **SCRIPT**

# **PRODUCTION OF LIQUID FUEL FROM POLYPROPYLENE PLASTIC WASTE WITH CO- REACTANT BIODIESEL FROM NYAMPLUNG SEED OIL (*CALOPHYLLUM INOPHYLLUM*) BY CATALITIC CONVERTION**

**KRISNA ADI NUGROHO**  
**NRP. 01211440000108**

**Advisor lecturer**  
**Dr. Hendro Juwono, M.Si.**

**CHEMISTRY DEPARTMENT**  
**FACULTY OF SCIENCES**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA**  
**2018**

**PRODUKSI BAHAN BAKAR CAIR DARI LIMBAH  
PLASTIK POLIPROPILENA DENGAN KO-  
REAKTAN BIODIESEL DARI MINYAK BIJI  
NYAMPLUNG (*CALOPHYLLUM INOPHYLLUM*)  
MELALUI KONVERSI KATALITIK**

**SKRIPSI**

Disusun sebagai syarat memperoleh gelar  
Sarjana Sains  
Pada  
Program Studi S-1 Kimia  
Fakultas Ilmu Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Disusun Oleh:

**KRISNA ADI NUGROHO**  
**NRP 01211440000108**

**DEPARTEMEN KIMIA  
FAKULTAS ILMU ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PRODUKSI BAHAN BAKAR CAIR DARI LIMBAH  
PLASTIK POLIPROPILENA DENGAN KO-  
REAKTAN BIODIESEL DARI MINYAK BIJI  
NYAMPLUNG (*CALOPHYLLUM INOPHYLLUM*)  
MELALUI KONVERSI KATALITIK**

**SKRIPSI**

**Disusun oleh:**

**KRISNA ADI NUGROHO**  
**NRP. 01211440000108**

Surabaya, 26 Maret 2018

Menyetujui,

Dosen Pembimbing



**Dr. Hendro Juwono, M.Si**  
**NIP 19610606 198803 1 001**



Mengetahui,  
Kepala Departemen Kimia FIA

  
**Prof. Dr. Didik Prasetyoko, S.Si., M.Sc.**  
**NIP 19710616 199703 1 002**

# **PRODUKSI BAHAN BAKAR CAIR DARI LIMBAH PLASTIK POLIPROPILENA DENGAN KO-REAKTAN BIODIESEL DARI MINYAK BIJI NYAMPLUNG (*CALOPHYLLUM INOPHYLLUM*) MELALUI KONVERSI KATALITIK**

Nama : KRISNA ADI NUGROHO  
NRP : 01211440000108  
Departemen : Kimia ITS  
Dosen pembimbing : Dr. Hendro Juwono, M.Si.

## **ABSTRAK**

Produksi bahan bakar cair dari limbah plastik polipropilena dengan ko-reaktan biodiesel dari minyak biji nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) menggunakan metode konversi katalitik telah berhasil dilakukan. Variasi *feedstock* yang digunakan adalah 100 % (P) : 0 % (N) hingga 40 % (P) : 60 % (N) (v : v). Katalis Al-MCM-41 : Keramik (7:3, b/b) digunakan dan dikarakterisasi dengan XRD, SEM, dan Adsorpsi – Desorpsi N<sub>2</sub>. Pada penelitian ini penambahan jumlah ko-reaktan pada *feedstock* mampu mempengaruhi % yield dan karakteristik fisik produk bahan bakar cair yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa % yield terbesar diperoleh dari variasi *feedstock* 80 % (P) : 20 % (N) sejumlah 85 mL dengan jumlah % fraksi < C7 sebesar 6.97 %, C7 – C12 sebesar 54,27 %, > C12 sebesar 0,28 % serta data karakterisasi fisik berupa densitas sebesar 0,729 g/cm<sup>3</sup>, titik nyala 7,1 °C dan nilai kalor sebesar 59,19 MJ/Kg serta dari seluruh bahan bakar cair yang diproduksi memenuhi Standar ASTM *Gasoline*.

**Kata Kunci :** Bahan Bakar Cair, Polipropilena, *Calophyllum Inophyllum*, Konversi Katalitik.

# PRODUCTION OF LIQUID FUEL FROM POLYPROPYLENE PLASTIC WASTE WITH CO-REACTANT BIODIESEL FROM NYAMPLUNG SEED OIL (*CALOPHYLLUM INOPHYLLUM*) BY CATALITIC CONVERSION

Name : KRISNA ADI NUGROHO  
NRP : 01211440000108  
Department : Chemistry  
Advisor : Dr. Hendro Juwono, M.Si.

## ABSTRACT

Production of liquid fuel from polypropylene plastic waste with co-reactant biodiesel from nyamplung oil (*Calophyllum Inophyllum*) by catalytic conversion has been successfully performed. Feedstock variations used are 100 % (P) : 0 % (N), 80 % (P) : 20 % (N), 60 % (P) : 40 % (N), 50 % (P) : 50 % (N), and 40 % (P) : 60 % (N) (v : v). Amount of co-reactants can affect the yield% and physical characteristics of liquid fuel products that produced. Results showed that the largest percentage of yield was obtained from the variation of feedstock 80 % (P) : 20 % (N) is 85 mL with the amount of % fraction <C7 is 6,97 %, C7 - C12 is 54,27 %, and > C12 is 0,28 % and physical characterization data of density 0,729 g/cm<sup>3</sup>, flash point 7,1 ° C and heat value 59,19 MJ/Kg. All liquid fuels that produced have fulfill the ASTM Standards Gasoline except, flash point parameter.

**Keyword :** Liquid Fuel, Polypropylene, *Calophyllum Inophyllum*, Catalitic Conversion

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas rahmat-Nya, sehingga naskah Tugas Akhir yang berjudul “Produksi Bahan Bakar Cair Dari Limbah Plastik Polipropilena dengan Ko-Reaktan Biodiesel Dari Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) Melalui Konversi Katalitik” dapat diselesaikan. Tulisan ini tidak akan terwujud dengan baik tanpa bantuan, dukungan, dan dorongan dari semua pihak, untuk itu penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Dr. Hendro Juwono, M.Si selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan dukungan dan bimbingan dalam penyusunan skripsi.
2. Prof. Dr. Didik Prasetyoko, M.Sc, selaku Kepala Departemen Kimia FIA ITS untuk segala fasilitas yang telah diberikan hingga skripsi ini terselesaikan.
3. Dra. Ita Ulfin., M.Si, selaku Kepala Laboratorium Instrumentasi dan Sains Analitik yang telah menyediakan fasilitas dalam pengerjaan skripsi.
4. Zjakra Vianita Nugraheni., S.Si, M.Si, selaku dosen wali yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama ini
5. Ibu, Ayah dan adik yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan, motivasi, dan do’a sepanjang waktu.
6. Rifaldi, Yamin dan Riza selaku rekan tim Sukses Cracking yang selalu membantu, memberikan semangat, doa dan dukungannya.
7. Non Herlina Krise Tiany untuk segala supportnya.
8. Best Friend Forever : Dhany, Imung, Bagus, Jholpek, Nervi, Linda, dan Rany yang selalu memberikan hari-hari terbaik sepanjang masa.
9. Teman-teman GALAXY terutama Kamp Ceria yang selalu memberikan video-video motivasi.
10. Semua pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan naskah ini masih terdapat kekurangan. Penulis mengharapkan saran yang bersifat membangun terhadap tulisan ini. Semoga naskah ini memberikan manfaat dan inspirasi terutama bagi pihak-pihak yang menekuni bidang terkait dengan yang penulis kerjakan.

Surabaya, 26 Maret 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	5
1.3. Batasan Masalah.....	6
1.4. Tujuan.....	6
1.5. Manfaat.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1. Polipropilena .....	9
2.2. Tanaman Nyamplung ( <i>Calophyllum Inophyllum</i> ).....	10
2.3. Minyak Nyamplung.....	12
2.4. Katalis.....	13
2.4.1. Al-MCM-41.....	14
2.5. Biofuel .....	16
2.5.1. Biodiesel.....	17
2.5.2. Biokerosin .....	17
2.6. Bahan Bakar Cair .....	18
2.7. Trans-Esterifikasi .....	18
2.8. Perengkahan .....	19
2.8.1. Perengkahan Termal.....	19
2.8.2. Perengkahan Katalitik .....	20
2.9. Karakterisasi Fisik Bahan Bakar Cair (BBC).....	21
2.9.1. Densitas Bahan Bakar Cair (BBC) .....	21
2.9.2. Titik Nyala Bahan Bakar Cair (BBC) .....	22

2.9.3.	Nilai Kalor Bahan Bakar Cair (BBC).....	22
2.10.	Instrumen Analisis .....	23
2.10.1.	GC-MS ( <i>Gas Chromatography – Mass Spectroscopy</i> ) .....	23
2.10.2.	Adsorpsi – Desorpsi N <sub>2</sub> .....	25
2.10.3.	XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) .....	27
2.10.4.	SEM ( <i>Scanning Electron Microscope</i> ).....	28
2.11.	Spesifikasi Bahan Bakar Cair Jenis <i>Gasoline</i> .....	29
BAB III METODE PENELITIAN .....		31
3.1.	Alat dan Bahan .....	31
3.1.1.	Alat .....	31
3.1.2.	Bahan.....	31
3.2.	Prosedur Penelitian .....	31
3.2.1.	Produksi Bahan Bakar Cair dari Limbah Plastik Polipropilena.....	31
3.2.2.	Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nyamplung ...	32
3.2.3.	Preparasi Katalis .....	33
3.2.4.	Produksi Bahan Bakar Cair Plastik dengan Ko-reaktan Biodiesel Minyak Biji Nyamplung .....	33
3.2.5.	Karakterisasi Bahan Bakar Cair.....	34
3.2.5.1.	Penentuan Densitas Bahan Bakar Cair .....	35
3.2.5.2.	Penentuan Titik Nyala Bahan Bakar Cair....	35
3.2.5.3.	Penentuan Kalor Pembakaran Bahan Bakar Cair.....	35
3.2.5.4.	Gas Chromatograph-Mass Spectrophotometer (GC-MS).....	36
3.2.6.	Karakterisasi Katalis Al-MCM 41 : Keramik ( 7 : 3 ).....	36
3.2.7.	Metode eksperimental dan evaluasi data .....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		39
4.1.	Produksi Bahan Bakar Cair .....	39
4.1.1.	Produksi Bahan Bakar Cair Plastik .....	40

4.1.2.	Hasil Produksi Bahan Bakar Cair dari Limbah Plastik Polipropilena dengan Ko-Reaktan Biodiesel Minyak Biji Nyamplung .....	43
4.2.	Karakterisasi Katalis (Al-MCM-41 : Keramik Busi) ..	46
4.2.1.	Hasil Karakterisasi SEM .....	46
4.2.2.	Hasil Karakterisasi XRD .....	47
4.2.3.	Hasil Karakterisasi Adsorpsi – Desorpsi N <sub>2</sub> .....	49
4.3.	Karakterisasi Bahan Bakar Cair .....	51
4.3.1.	Analisa Bahan Bakar Cair Dengan GC-MS .....	51
4.3.2.	Nilai Kalor Bahan Bakar Cair (BBC).....	54
4.3.3.	Densitas Bahan Bakar Cair (BBC) .....	56
4.3.4.	Titik Nyala Bahan Bakar Cair (BBC) .....	58
4.4.	Hasil Perengkahan Katalitik .....	60
BAB V PENUTUP.....		63
5.1.	Kesimpulan.....	63
5.2.	Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA.....		65
LAMPIRAN .....		73
BIODATA PENULIS.....		101

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Struktur Polipropilena (Calhoun, 2016).....	9
<b>Gambar 2. 2</b> Taktisitas Polipropilen : (A) Isotaktik, (B) Sindiotaktik, dan (C) Ataktik (Calhoun, 2016) .....	10
<b>Gambar 2. 3</b> Bunga, Buah, Biji, dan Pohon Tanaman Nyamplung ( <i>Calophyllum Inophyllum</i> ) (Atabani, 2014).....	12
<b>Gambar 2. 4</b> Ilustrasi pengembangan Al pada MCM-41 (Olah dkk., 2003).....	15
<b>Gambar 2. 5</b> Struktur Katalis Al-MCM-41 (Naik dkk., 2010)...	16
<b>Gambar 2. 6</b> Reaksi Transesterifikasi (Maneerung dkk., 2016)	19
<b>Gambar 2. 7</b> Mekanisme Perengkahan Katalitik Polipropilena dengan Zeolit (Sibarani, 2012) .....	21
<b>Gambar 2. 8</b> Skema Instrumen GC-MS (Hussain, 2014).....	23
<b>Gambar 2. 9</b> Grafil Isoterm Adsorpsi – Desorpsi N <sub>2</sub> Al-MCM-41 (Juwono dkk, 2017b) .....	26
<b>Gambar 2. 10</b> Jenis – Jenis Grafik Adsorpsi Isoterm (Inagaki, 2016).....	26
<b>Gambar 2. 11</b> Kondisi geometri untuk difraksi dari bidang kisi (Epp, 2016) .....	27
<b>Gambar 2. 12</b> Scanning Electron Microscope (SEM) (Inagaki, 2016).....	29
<b>Gambar 4. 1</b> Gelas Plastik Polipropilena.....	40
<b>Gambar 4. 2</b> Cacahan Limbah Plastik Polipropilena .....	41
<b>Gambar 4. 3</b> Sistem Reaktor Pirolisis Polipropilena .....	41
<b>Gambar 4. 4</b> Hasil Perengkahan Termal Polipropilena.....	42
<b>Gambar 4. 5</b> (a) Katalis Al-MCM-41 : Keramik Busi (7 : 3), (b) Pellet Katalis.....	43
<b>Gambar 4. 6</b> Sistem Reaktor Perengkahan Katalitik Minyak Plastik : Biodiesel Minyak Nyamplung.....	44
<b>Gambar 4. 7</b> Hasil Perengkahan Katalitik Bahan Bakar Cair dengan Variasi feedstock.....	45
<b>Gambar 4. 8</b> Morfologi Katalis Al-MCM-41 (a) Morfologi Katalis Al-MCM-41 : Keramik busi (7 : 3) (b) .....	47

<b>Gambar 4. 9</b> (a) Defraktogram Puncak khas MCM-41 , (b) Defraktogram Al dan Defragtogram Keramik Busi. ....	48
<b>Gambar 4. 10</b> (a) Grafik isoterm Al-MCM-41 referensi (b) Grafik isoterm Al-MCM-41 : Keramik .....	50
<b>Gambar 4. 11</b> Kromatogram Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan 100 % (P) : 0 % (N) .....	51
<b>Gambar 4. 12</b> Komposisi Fraksi Bensin pada Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan Setiap Variasi feedstock .....	53
<b>Gambar 4. 13</b> Komposisi Hidrokarbon Penyusun Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan setiap Variasi feedstock .....	53
<b>Gambar 4. 14</b> Nilai Kalor Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan .....	55
<b>Gambar 4. 15</b> Densitas Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan ..	57
<b>Gambar 4. 16</b> Titik Nyala Bahan Bakar Cair hasil Perengkahan Katalitik .....	59
<b>Gambar 4. 17</b> Konversi Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan Katalitik .....	60

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Asam Lemak Penyusun Minyak Nyamplung (Dephut, 2008).....	13
<b>Tabel 2. 2</b> Spesifikasi Bahan Bakar Jenis Gasoline Berdasarkan ASTM (Ahmad dkk, 2017).....	30
<b>Tabel 4. 1</b> Data Hasil Uji Adsorpsi – Desorpsi N <sub>2</sub> .....	50
<b>Tabel 4. 2</b> % Fraksi Komposisi Rantai Hidrokarbon dalam Bahan Bakar Cair (BBC).....	52
<b>Tabel 4. 3</b> Hasil karakterisasi BBC dengan ASTM Gasoline. ....	61
<b>Tabel D. 1</b> Data Pengukuran % Konversi Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan Katalitik.....	94
<b>Tabel D. 2</b> Data Pengukuran Nilai Kalor Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan Katalitik .....	94
<b>Tabel D. 3</b> Data Pengukuran Densitas Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan Katalitik .....	95
<b>Tabel D. 4</b> Data Pengukuran Titik Nyala Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan Katalitik .....	95
<b>Tabel E. 1</b> Perhitungan Densitas Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan Katalitik.....	96
<b>Tabel E. 2</b> % Yield Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan Katalitik .....	97
<b>Tabel E. 3</b> % Yield setiap Fraksi Hidrokarbon Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan Katalitik .....	98

## DAFTAR LAMPIRAN

A.	Langkah Penelitian .....	73
B.	Diagram Alir.....	74
C.	Karakterisasi Katalis Al-MCM-41 : Keramik Busi ( 7 : 3).....	75
C.1.	Hasil Karakterisasi SEM .....	75
C.2.	Hasil Karakterisasi Adsorpsi – Desorpsi N <sub>2</sub> .....	76
C.3.	Hasil Karakterisasi XRD .....	77
D.	Karakterisasi Bahan Bakar Cair .....	79
D.1.	Hasil Karakterisasi GC-MS Fraksi Rantai Hidrokarbon dalam BBC.....	79
D.2.	Hasil Konversi BBC .....	94
D.3.	Hasil Karakterisasi Nilai Kalor BBC .....	94
D.4.	Hasil Karakterisasi Densitas BBC.....	95
D.5.	Hasil Karakterisasi Titik Nyala BBC .....	95
E.	Pehitungan.....	96
E.1.	Perhitungan Densitas Bahan Bakar Cair .....	96
E.2.	Perhitungan % Yield Bahan Bakar Cair .....	97
E.3.	Perhitungan % Yield Fraksi Bahan Bakar Cair .....	98
F.	Standar Baku Mutu Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin .....	100
F.1.	ASTM <i>Gasoline</i> .....	100
BIODATA PENULIS.....		101





## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Ketergantungan energi bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi dan gas semakin meningkat. Data Kementerian ESDM, 2015 tentang produksi bahan bakar fosil sektor minyak bumi pada rentang waktu 2010 – 2014 menyebutkan bahwa terjadi penurunan jumlah produksi minyak bumi pada kurun waktu tersebut. Pada beberapa dasawarsa mendatang, ketergantungan pada bahan bakar fosil harus dikurangi, karena bahan bakar fosil adalah sumber daya yang terbatas dan suatu saat pasti akan habis. Keterbatasan sumber daya fosil mempercepat eksploitasi sumber daya terbarukan untuk menggantikan bahan bakar minyak bumi hidrokarbon, khususnya pada pengembangan biofuel generasi baru (Atsonios dkk., 2015).

Sumber minyak nabati dapat memenuhi kebutuhan sektor transportasi saat ini, tidak hanya dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, tetapi juga membantu untuk mengurangi polusi karbon (Kumar, 2010). Dalam hal ini, sejumlah bahan biomassa yang berbeda telah menarik perhatian sebagai alternatif sumber energi, bahan kimia dan juga alternatif untuk menggantikan bahan bakar fosil. Berbagai *biofuel* seperti bioetanol, bio jet, bio-oil, biogas, biodiesel dan biochar dapat diproduksi dari biomassa. Biofuel ini dapat diproduksi dengan menggunakan berbagai metode, seperti fermentasi, transesterifikasi, perengkahan, dan gasifikasi. Sejumlah bahan biomassa yang dapat digunakan untuk proses perengkahan: lignoselulosa (kayu, rumput, dll), residu pertanian, lumpur limbah, mikroalga, makroalga, dan bahan kayu limbah (limbah konstruksi, limbah perabot, dll) (Kim dkk., 2017).

Tanaman penghasil minyak nabati juga mempunyai potensi untuk dijadikan bahan baku biofuel. Minyak nabati (khususnya *non-edible oil*) diklasifikasikan sebagai bahan baku

biofuel generasi kedua. *Jatropha curcas*, *Pongamia pinnata*, *Moringa oleifera*, *Calophyllum inophyllum*, *Ricinus communis* (*Kastor*) dll adalah beberapa contoh umum tanaman penghasil minyak nabati *non-edible*. Di antara banyak tanaman penghasil minyak nabati *non-edible*, *Calophyllum inophyllum* memiliki banyak keunggulan seperti, potensi bertahan hidup yang tinggi (sampai 50 tahun), kandungan minyak tinggi (40-73%) pada biji keringnya, hasil minyak tinggi (4680 kg ha<sup>-1</sup> tahun<sup>-1</sup>), nilai kalor tinggi yang dihasilkan *Fatty Acid Methyl Esters* (FAMES) dan kompatibilitas dengan standar biodiesel ASTM D6751 dan EN 14214. Oleh karena itu, pemanfaatan bahan baku (mengandung kadar FFA tinggi) seperti *Calophyllum inophyllum* merupakan alternatif solusi untuk pengurangan biaya pembuatan biodiesel (Atabani, 2014). Meskipun memungkinkan untuk menghasilkan bahan bakar cair, yang disebut bio-oil atau minyak perengkahan, dari pirolisa biomassa, bio-oil sulit dimanfaatkan sebagai bahan bakar secara langsung karena kualitasnya yang rendah (Lee dkk., 2016). Untuk meningkatkan kualitas bio-oil, metode perengkahan katalitik dari biomassa atau co-perengkahan katalitik dengan plastik telah direkomendasikan (Kim dkk., 2017).

Perengkahan katalitik biomassa dan plastik juga dianggap sebagai salah satu metode untuk menghasilkan hidrokarbon aromatik dalam produk akhir minyak. Efek sinergi untuk pembentukan hidrokarbon aromatik oleh co-pirolisa dengan plastik dalam sistem perengkahan biomassa telah dilaporkan Jae, 2014. Jenis plastik, seperti polietilen (PE), polipropilena (PP), polistiren (PS), digabungkan ke dalam sistem perengkahan katalitik komponen biomassa dan biomassa. Pencampuran plastik dengan biomassa dalam perengkahan memberikan keuntungan tambahan karena sifat minyak hasil perengkahan dari plastik serupa dengan bahan baku kimia untuk industri petrokimia (To, 2015).

Pada tahun 2016 Indonesia menjadi negara penghasil sampah plastik terbesar ke-2 di dunia dengan jumlah sampah plastik sebanyak 187,2 juta ton, setelah Cina dengan jumlah sampah plastik sebanyak 262,9 juta ton (Nurdianto dkk., 2016). Konsumsi dominan jenis plastik dunia adalah jenis plastik polipropilena yaitu mencapai 2 per 3 konsumsi total semua jenis plastik (Maddah, 2016). Polipropilena (PP) juga merupakan komponen plastik utama yang ditemukan di limbah padat kota, menyumbang 24,3% dari total plastik (Sharuddin dkk., 2016). Jumlah sampah PP diperkirakan akan meningkat lebih jauh lagi karena tingginya permintaan produk PP dalam kehidupan kita sehari-hari. Sejumlah besar PP ditemukan di tempat pembuangan akhir karena daur ulang mekanis hanya bisa diterapkan pada limbah polimer tunggal dan bersih; campuran limbah PP tidak dapat didaur ulang. Akan tetapi pada kondisi lain, PP (seperti kebanyakan plastik) yang memiliki tingkat degradasi rendah, dapat menyebabkan masalah lingkungan yang serius seperti kontaminasi tanah dan air (Heydariaraghi, 2016). Selanjutnya, PP memiliki sejumlah besar energi (46,4 MJ / kg) yang berpotensi digunakan untuk menggantikan bahan bakar fosil konvensional (Kittle, 1993). PP memiliki keunggulan sebagai sumber dan konversi bahan bakar cair yang mudah, PP banyak digunakan sebagai bahan untuk co-pirolisis biomassa untuk meningkatkan produk bio-minyak (Parparita dkk., 2014). Zhang dkk (2015) melaporkan reaksi co-pirolisis lignin *black-liquor* dengan tiga jenis plastik limbah (termasuk PP) dan menyimpulkan bahwa penggunaan PP selama co-perengkahan menunjukkan selektivitas konversi propilena sebesar 22,9%.

Salah satu material mesopori yang sering digunakan sebagai katalis pada proses perengkahan katalitik adalah MCM-41. Akan tetapi, material MCM-41 memiliki sisi keasaman yang relatif rendah (Chew & Bhatia, 2008). MCM-41 sulit digunakan sebagai

katalis secara langsung dikarenakan rendahnya sisi asam lewis yang dimiliki MCM-41 dan tidak dimilikinya sisi asam Bronsted dalam material ini (Endud dkk., 1998). Oleh karena itu, perlu adanya modifikasi dari MCM-41 dengan menambahkan suatu logam untuk meningkatkan keasaman total dari MCM-41. Katalis Al-MCM-41 merupakan material hasil modifikasi MCM-41 dengan menyisipkan logam Al pada struktur MCM-41, adanya logam aluminium pada struktur MCM-41 meningkatkan keasaman dari material ini sehingga ion logam tersebut akan menjadi asam lewis yang berperan sebagai sisi aktif dalam proses perengkahan katalitik (Bhattacharyya dkk., 2001). Pada penelitian ini digunakan katalis Al-MCM-41 dengan campuran keramik busi (7 : 3 , Al-MCM-41 : keramik) sebagai katalis dalam proses perengkahan katalitik plastik dengan ko-reaktan biomassa nyamplung untuk menghasilkan bahan bakar cair (BBC).

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk menjawab permasalahan yang telah dipaparkan sebelumnya, sebagai contoh penelitian sintesis bahan bakar cair dengan fraksi hidrokarbon seperti bensin melalui perengkahan katalitik limbah plastik polipropilena (PP) oleh Shelvi (2017) dengan adanya katalis Al-MCM-41 serta pengujian terhadap kinerja dari katalis Al-MCM-41 bila digunakan secara berulang terhadap hasil perengkahan limbah plastik PP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan bakar cair yang paling mendekati karakteristik bahan bakar minyak berjenis bensin sesuai baku mutu SNI 06-3506-1994 adalah bahan bakar cair berkatalis 3,52% (b/b) dengan *yield* fraksi bensin (C7-C12) sebesar 71,89%. konversi katalitik sintesis bahan bakar cair dari limbah plastik polipropilena (PP) menghasilkan fraksi bensin (C8-C12) sebesar 77,67%.

Telah dilakukan pula penelitian sintesis Biodiesel dari minyak mentah nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) Juwono dkk., (2017) melalui transesterifikasi menggunakan katalis Al-

MCM-41. Hasil kromatogram GC - MS menunjukkan bahwa konversi minyak biji nyamplung untuk biodiesel adalah 98,15%. Kinerja biodiesel yang diperoleh dianalisis dengan menguji unjuk kerjanya ke mesin diesel. Biodiesel yang diperoleh dicampur dengan bahan bakar solar komersial di berbagai rasio volume (yaitu 0, 10, 20, 30 dan 100%) sebelum digunakan. Tenaga mesin optimal dicapai oleh 10% biodiesel. Campuran 10% biodiesel memiliki karakteristik yang sama dengan minyak diesel komersial, nilai kerjanya sampai 1800 watt.

Berawal dari kenyataan tersebut, maka perlu dilakukan tindakan untuk mengurangi jumlah sampah terutama plastik polipropilena sekaligus mengatasi masalah konsumsi BBM yang berasal dari fosil yang tidak dapat terbaru. Bahan bakar cair yang diperoleh kemudian dikarakterisasi menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk mengetahui senyawa kimia penyusun bahan bakar cair tersebut. Sebagai bahan bakar cair yang akan dimanfaatkan untuk mesin kendaraan, maka perlu dilakukan karakterisasi fisik meliputi titik nyala, densitas, dan nilai kalor yang kemudian dibandingkan dengan ASTM *Gasoline*.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan data limbah plastik dari Nurdianto dkk., 2016, memanfaatkan limbah plastik khususnya polipropilena merupakan salah satu potensi yang besar sebagai bahan bakar cair alternatif. Namun penggunaan bahan baku polipropilena memiliki persoalan pada nilai kalor yang tinggi sehingga perlu ditambahkan ko-reaktan yang kaya karbon dan hidrogen. Salah satu sumber yang paling potensial merupakan Biodiesel yaitu biodiesel dari minyak biji nyamplung yang merupakan alternatif bahan bakar terbaru. Berdasarkan penelitian sebelumnya yaitu penelitian oleh Shelvi, (2017) dan Juwono dkk., (2017) belum ada penelitian tentang pengaruh variasi campuran *feedstock* antara polipropilena dengan

biodiesel minyak biji nyamplung. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang variasi *feedstock* antara polipropilena dengan biodiesel minyak nyamplung untuk mengetahui pengaruh dari penambahan ko-reaktan biodiesel terhadap hasil produksi bahan bakar cair.

### **1.3. Batasan Masalah**

Produksi bahan bakar cair dari limbah plastik PP dengan ko-reaktan biodiesel minyak biji nyamplung hasil konversi katalitik penelitian ini dilakukan pada temperatur 300 °C selama 2 jam. Variasi komposisi *feedstock* yang digunakan adalah % volume limbah plastik PP (P) dengan biodiesel minyak biji nyamplung (N) dengan volume total 300 mL adalah 100 % (P) : 0 % (N) ; 80 % (P) : 20 % (N) ; 60 % (P) : 40 % (N) ; 50 % (P) : 50 % (N) ; dan 40 % (P) : 60 % (N), menggunakan campuran katalis Al-MCM-41 : Keramik Busi ( 7 : 3, b/b) sebesar 9 g. Bahan bakar yang diperoleh kemudian dikarakterisasi sifat fisiknya meliputi titik nyala, densitas, dan nilai kalor yang sesuai dengan ASTM *Gasoline*. Pengujian secara kimia dilakukan dengan *Gas Chromatography - Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk mengetahui perolehan *yield* fraksi rantai hidrokarbon yang terdapat pada bahan bakar cair hasil perengkahan.

### **1.4. Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh komposisi campuran dari limbah plastik polipropilena dengan ko-reaktan biodiesel dari minyak biji nyamplung terhadap % *yield* bahan bakar cair hasil perengkahan, rentang rantai hidrokarbon produk, dan karakterisasi fisik yang memenuhi standar ASTM *Gasoline*.

### **1.5. Manfaat**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat meliputi :

1. Memberikan alternatif produksi bahan bakar cair yang terbatas berasal dari sumber daya fosil, sehingga dapat mengurangi ketergantungan akan bahan bakar minyak yang semakin menipis.
2. Mengurangi limbah plastik khususnya plastik polipropilena dengan memanfaatkannya menjadi sumber bahan bakar cair sehingga, dapat mengurangi masalah limbah plastik di lingkungan.
3. Sebagai informasi ilmu pengetahuan mengenai pengaruh jumlah ko-reaktan dalam produksi bahan bakar cair sehingga, dapat dilakukannya penelitian lebih lanjut mengenai produksi bahan bakar cair.

***“Halaman Sengaja dikosongkan”***

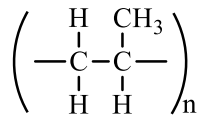


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

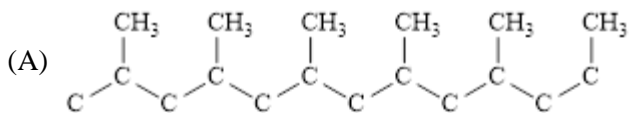
#### 2.1. Polipropilena

Polipropilena (PP) adalah salah satu polimer produksi yang terbesar di dunia, digunakan dalam berbagai macam item yang mencakup dari serat, plastik, kemasan dan sebagainya karena kekuatan, ketangguhan, dan titik lebur yang tinggi. Bila diformulasikan dengan zat aditif yang tepat, resin polipropilen dapat menunjukkan sifat fisik yang baik. Struktur kimia dari polipropilen agak sederhana, gugus metil terletak di setiap unit karbon seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1 (Calhoun, 2016).

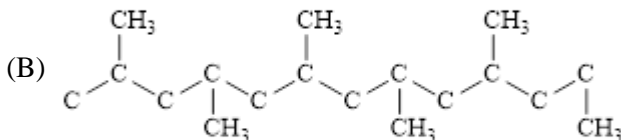


**Gambar 2. 1** Struktur Polipropilena (Calhoun, 2016)

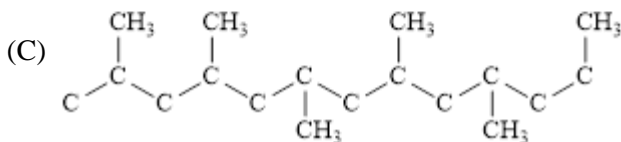
Polipropilena dibagi menjadi tiga macam yaitu PP isotaktik, PP sindiotaktik dan PP ataktik. Pembagian tersebut didasarkan pada letak atom karbon dan gugus metil dalam rantai molekul. Gugus metil ditempatkan secara konsisten di satu sisi rantai polimer menghasilkan polipropilena isotaktik. Bila gugus metil ini bergantian dari satu sisi ke sisi lainnya, polimer tersebut dikenal sebagai sindiotaktik. Urutan kelompok metil acak menciptakan polimer ataktik. Taktisitas polimer digunakan untuk mendefinisikan karakteristik polimer seperti, distribusi berat molekul, derajat kristalinitas, dan mekanisme polimerisasi (Calhoun, 2016).



Polipropilen Isotaktik



Polipropilen Sindiotaktik



Polipropilen Ataktik

**Gambar 2. 2** Taktisitas Polipropilen : (A) Isotaktik, (B) Sindiotaktik, dan (C) Ataktik (Calhoun, 2016)

Polipropilen merupakan salah satu dari limbah plastik yang dapat diolah menjadi bahan bakar minyak dengan menggunakan beberapa metode, seperti *pyrolysis*, *thermal cracking*, *catalytic cracking*, *catalytic degradation*, dan *hydrocracking*. Limbah plastik PP mengandung 85% karbon dan sisanya adalah hidrogen. Hal tersebut membuat plastik jenis ini cocok untuk didaur ulang menjadi produk hidrokarbon (Neeraj dkk., 2014).

## 2.2. Tanaman Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*)

Tanaman Nyamplung atau *Calophyllum inophyllum* adalah pohon serbaguna dengan famili Clusiaceae, yang umumnya dikenal sebagai tanaman manggis. Tanaman ini berasal dari berbagai tempat yaitu Afrika Timur, India, Asia Tenggara, Australia, dan Pasifik Selatan. Seperti yang bisa dilihat, pohon ini banyak tersedia

di India, Asia Tenggara dan Australia. Tanaman ini tumbuh di daerah dengan curah hujan tahunan 1000 - 5000 mm dan pada ketinggian dari 0 sampai 200 m. *Calophyllum inophyllum* adalah tanaman bercabang dan pohon yang tumbuh lambat dengan dua periode berbunga yang berbeda pada awal musim semi dan akhir musim gugur. Akan tetapi, terkadang pembungaannya bisa terjadi sepanjang tahun. *Calophyllum inophyllum* tumbuh paling baik di tanah berpasir dan berdrainase baik. Namun, pohon ini dapat pula tumbuh pada media tanah liat, berkapur, dan berbatu.

Pohon nyamplung memiliki daun yang mengkilap, elips, dan sulit, bunga putih harum, dan biji berbentuk bundar yang besar. Ukuran tanaman nyamplung biasanya berkisar antara 8 dan 20 m (25 - 65 kaki) tinggi pada saat mulai berbuah, kadang mencapai 35 m (115 kaki). Kecepatan pertumbuhan pohon nyamplung setinggi 1 m (3,3 kaki) per tahun jika di tempat yang cocok. Daunnya berat dan mengkilap, panjangnya 10 - 20 cm (4 - 8 inci) dan lebarnya 6 - 9 cm (2,4 - 3,6 in.), berwarna hijau muda saat muda dan hijau tua saat lebih tua. Buah nyamplung berbentuk bola dan tersusun dalam kelompok. Buahnya berwarna hijau saat mentah menjadi hijau cerah dan saat matang, warnanya berubah menjadi abu-abu gelap dan berkerut. Buah nyamplung yang dihasilkan pohonnya adalah 100 - 200 buah / kg. Pada masing-masing buah, satu biji buah nyamplung berdiameter 2 - 4 cm (0,8 - 1,6 in.). Biji diselimuti oleh cangkang dan lapisan tipis pulpof setebal 3 - 5 mm.

Minyak nyamplung tidak dapat dikonsumsi secara langsung dan berwarna hijau tua. Secara tradisional, minyaknya telah digunakan sebagai obat, sabun, dan kosmetik di berbagai belahan dunia. Baru-baru ini, *Calophyllum inophyllum* telah

diusulkan sebagai sumber biodiesel. Gambar 2.3 menunjukkan pohon dan buah *Calophyllum inophyllum* (Atabani, 2014).



**Gambar 2. 3** Bunga, Buah, Biji, dan Pohon Tanaman Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) (Atabani, 2014)

### 2.3. Minyak Nyamplung

Minyak nyamplung mempunyai kandungan asam lemak tidak jenuh yang cukup tinggi seperti asam oleat serta komponen - komponen lain diantaranya alkohol lemak, sterol, xanton, turunan kuomarin, kalofilat, isokalofilat, isoptalat, kapelierat, asam pseudobrasilat, dan penyusun triterpenoat sebanyak 0.5 – 2.0 % yang dapat dimanfaatkan sebagai obat. Menurut Mudrawan dkk., (2016) asam lemak penyusun minyak nyamplung dapat dilihat pada Tabel 2.1

Hasil pengujian sifat fisiko-kimia biodiesel nyamplung yang dilakukan oleh Pusatlitbang Minyak dan Gas Bumi, hampir seluruhnya telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) No.

04-7182-2006. Komponen biodiesel dengan rendemen konversi asam lemak menjadi metil ester 97,8% dan metil ester yang dominan adalah metil palmitat, metil stearat, metil oleat, dan metil linoleat (Balitbang Kehutanan,2008). Biodiesel nyamplung 100% tanpa campuran solar (B 100) telah diuji coba di jalan raya (*road rally test*) tiga kali dengan menggunakan kendaraan produksi tahun 1993 jarak total yang ditempuh 370 km dan kecepatan hingga 120 km/jam dengan nilai oktan hanya 1 angka di bawah solar. Hasilnya memuaskan, tanpa masalah teknis pada mesin dan dari segi lingkungan biodiesel nyamplung bebas dari polutan. Pengujian kinerja mesin dengan bahan bakar biodiesel nyamplung saat ini masih dilaksanakan oleh Puspitek LIPI di Serpong.

**Tabel 2. 1** Asam Lemak Penyusun Minyak Nyamplung (Dephut, 2008)

<b>Asam Lemak</b>	<b>Komposisi (%)</b>
Asam Miristat	0.09
Asam Palmitat	14.6
Asam Oleat	37.57
Asam Linoleat	26.33
Asam Stearat	19.96
Asam Linolenat	0.27
Asam Pentadekanoat	1.67

## 2.4. Katalis

Katalis adalah zat yang ditambahkan pada suatu sistem reaksi untuk meningkatkan laju reaksi kimia dalam sistem. Prinsip kerja dari katalis adalah dengan menurunkan tingkat energi aktivasi yang dibutuhkan dalam reaksi. Energi aktivasi adalah energi minimum yang dibutuhkan untuk menghasilkan produk. Dengan menurunnya energi aktivasi untuk pembentukan produk, maka tiap

satuan waktu semakin banyak molekul–molekul yang mencapai energi minimum tersebut, sehingga waktu yang dibutuhkan dalam pembentukan produk pun dapat disingkat, atau dengan kata lain reaksinya semakin cepat.

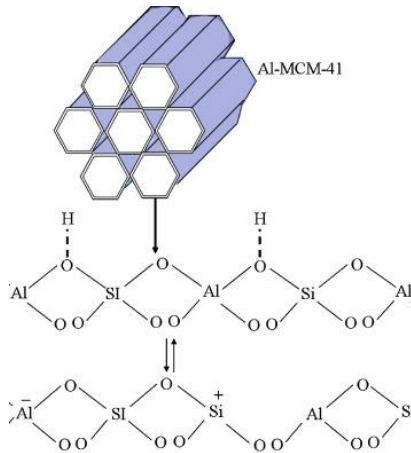
Sifat katalis ideal yang diharapkan dalam suatu reaksi adalah aktif, selektif, stabil dan ekonomis. Aktif berarti dapat mempercepat pembentukan intermediet. Selektif dapat diartikan memperbanyak hasil atau produk utama yang diinginkan dan memperkecil hasil samping dari suatu reaksi. Stabil berarti katalis tidak berubah sifat fisika dan kimianya setelah reaksi katalisis berakhir. Ekonomis berarti bahwa dengan menggunakan jumlah katalis yang sedikit, produk yang dihasilkan lebih baik daripada tidak menggunakan katalis sehingga menghemat biaya (Wibowo, 2004).

#### **2.4.1. Al-MCM-41**

Material mesopori pertama diperoleh para ilmuwan pada *Mobil Oil Corporation* diberi singkatan MCM (*Mobil Composition of Matter*). MCM terdiri dari susunan heksagonal teratur dengan pori berukuran seragam dengan distribusi ukuran pori yang sangat sempit (Kresge dkk., 1992). Bahan mesopori bervariasi satu sama lain tergantung pada pengaturan pori-pori heksagonal yang lebih umum seperti MCM-41 atau bentuk lamelar dan kubik seperti MCM-48 dan MCM-50.

MCM-41 telah digunakan secara intensif dalam pirolisis katalitik. Wang dkk., (2010) telah menunjukkan bahwa jumlah senyawa beroksigen menurun dan senyawa hidrokarbon serta fenolik meningkat dalam *bio-oil* yang dihasilkan dari proses pirolisa katalitik tongkol jagung dengan adanya katalis MCM-41. Katalis mesopori memiliki stabilitas termal yang buruk dan keasaman lemah yang menghambat penerapan katalitiknya untuk meningkatkan gas hasil pirolisa.





**Gambar 2. 5** Struktur Katalis Al-MCM-41 (Naik dkk., 2010)

## 2.5. *Biofuel*

*Biofuel* adalah bahan bakar yang berasal dari bahan organik, yang juga disebut *non-fossil energy*. Berbeda dengan bahan bakar yang banyak kita kenal saat ini yaitu bahan bakar minyak (BBM), seperti premium, pertamax, solar, maupun minyak diesel industri yang merupakan *fossil energy*. *Biofuel* mempunyai sifat dapat diperbaharui, yang artinya bahan bakar ini dapat dibuat oleh manusia dari bahan-bahan yang bisa ditumbuhkan atau dikembangkan (Arasyid, 2010). Bahan baku *biofuel* biasanya banyak ditemui serta mudah didapat, seperti minyak sawit, minyak jarak pagar, tebu, kelapa, nyamplung, kedelai, ubi kayu, wijen, dan sebagainya sehingga penyediaannya lebih berkesinambungan (Prastowo, 2008). *Biofuel* ini juga memiliki kandungan polusi yang lebih kecil karena berbagai tanaman yang digunakan untuk memproduksi biofuel dapat mengurangi karbon dioksida di atmosfer, tidak seperti bahan bakar fosil yang justru mengembalikan karbon yang tersimpan di bawah permukaan tanah



ke udara. Sehingga penggunaan *biofuel* dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak bumi serta meningkatkan keamanan energi.

### **2.5.1. Biodiesel**

Biodiesel merupakan bahan bakar mesin diesel yang berasal dari sumber daya hayati. Biodiesel dapat terbentuk dari minyak nabati maupun lemak hewan (Soerawidjaja, 2006). Biodiesel dapat didefinisikan sebagai bahan bakar yang tersusun atas mono-alkil ester dengan asam lemak rantai panjang. Secara umum Biodiesel terbentuk dari reaksi trans-esterifikasi dengan katalis basa. Namun, apabila sumber dari biodiesel merupakan minyak dengan kadar FFA tinggi dapat digunakan reaksi esterifikasi dengan katalis asam untuk menstabilkan biodiesel (Borges, 2012)

### **2.5.2. Biokerosin**

Kerosin atau yang sehari-hari disebut dengan minyak tanah adalah produk minyak bumi yang mempunyai rantai atom karbon  $C_9 - C_{16}$  dan memiliki rentang didih sekitar  $302 - 554\text{ }^{\circ}\text{F}$ . Kerosin sendiri biasanya digunakan sebagai minyak bahan bakar kompor dan minyak lampu di dalam rumah tangga, merupakan produk minyak bumi yang stabil dan memerlukan penambahan aditif untuk memperbaiki mutunya. Adapun sifatnya antara lain mudah terbakar, uapnya dalam campuran udara akan mudah meledak pada suhu di atas  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ , warnanya kuning pucat dengan mempunyai bau yang khas dan dapat menghasilkan muatan elektrostatis jika mengalami pengadukan. Biokerosin dapat diproduksi dari minyak nabati (Pratiwi, 2016).

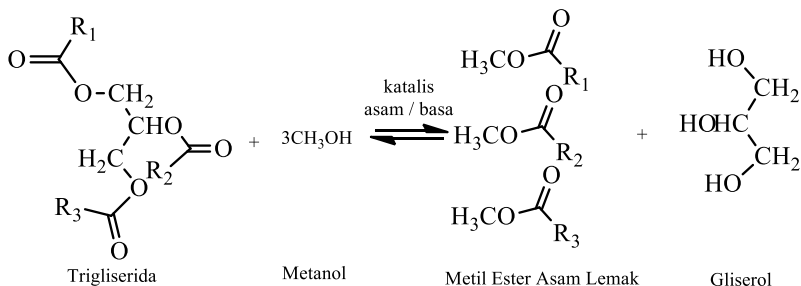
## **2.6. Bahan Bakar Cair**

Senyawa hidrokarbon merupakan senyawa yang terdiri dari hidrogen dan karbon. Hidrokarbon merupakan senyawa penyusun minyak bumi. Bentuk fisik minyak bumi di alam sangat beragam, padat, substansi lilin, serta berbentuk gas yang terkondensasi. Minyak bumi cair dapat berbentuk padatan melalui proses penguapan. Fraksi – fraksi ringan akan berubah menjadi gas dan uap sedangkan, fraksi – fraksi berat akan berubah menjadi padatan (Nugroho, 2006).

Senyawa hidrokarbon baik dari alam maupun buatan dapat membentuk bahan bakar cair. Bahan bakar cair umumnya berasal dari minyak bumi. Minyak bumi merupakan campuran alami dari hidrokarbon, belerang, nitrogen, oksigen, logam – logam, dan mineral. Secara teknis, bahan bakar cair merupakan sumber energi terbaik, bahan yang mudah didapat, mudah disimpan, mudah ditangani dan kalor pembakarannya cenderung konstan (Wiratmaja, 2010).

## **2.7. Trans-Esterifikasi**

Transesterifikasi dapat disebut juga reaksi alkoholisis, reaksi ini terjadi antara minyak atau lemak dengan alkohol menghasilkan ester dan gliserol. Reaksi transesterifikasi merupakan konversi dari trigliserida menjadi digliserida, digliserida menjadi monogliserida, dan monogliserida menjadi ester dan gliserol. Untuk mempercepat reaksi dapat digunakan katalis berupa basa heterogen, katalis asam heterogen, katalis alkali dan lain sebagainya (Chouhan dan Sarma, 2011).



**Gambar 2. 6** Reaksi Transesterifikasi (Maneerung dkk., 2016)

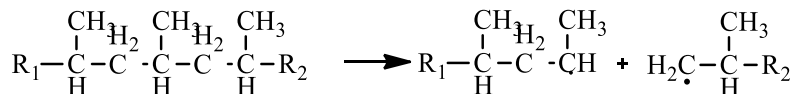
## 2.8. Perengkahan

Proses konversi dilakukan untuk menrubah senyawa dengan fraksi berat menjadi fraksi ringan. Proses konversi bisa dilakukan secara perengkahan termal, yaitu panas yang digunakan untuk mempengaruhi perubahan yang diinginkan, atau secara perengkahan katalitik yaitu dengan menggunakan katalis untuk menurunkan energi aktivasinya. Katalis ini juga dapat mengarahkan reaksi ke produk-produk yang diinginkan (katalis selektif). Perengkahan merupakan proses konversi molekul-molekul organik kompleks smenjadi molekul-molekul yang lebih sederhana dengan putusnya ikatan karbon-karbon dalam rantai molekul tersebut. Laju perengkahan dan produk akhirnya bergantung terhadap temperatur dan keberadaan katalis (Melyna, 2013).

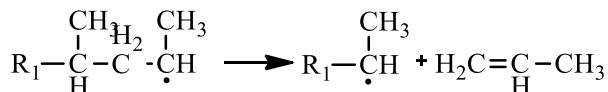
### 2.8.1. Perengkahan Termal

Pada proses perengkahan termal menggunakan temperatur tinggi yang kemudian menghasilkan fragmen-fragmen radikal yang cenderung akan mengalami oligomerisasi (Sibarani, 2012). Mekanisme perengkahan termal menunjukkan :

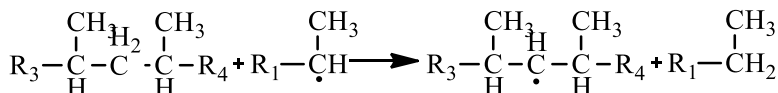
Tahap 1 : terbentuknya radikal



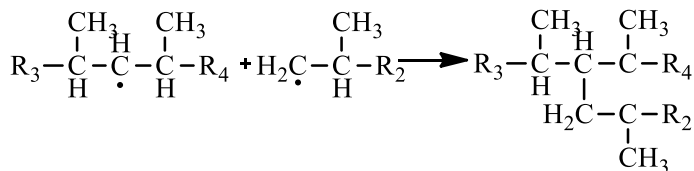
Tahap 2 : terjadi pemotongan pada posisi beta membentuk olefin (alkena) dan radikal baru



Tahap 3 : radikal yang dihasilkan pada tahap 2 menyerang polimer lain dan membentuk parafin (alkana) dan radikal yang baru



Tahap 4 : radikal akan saling bertemu mengalami polimerisasi kembali membentuk oligomer



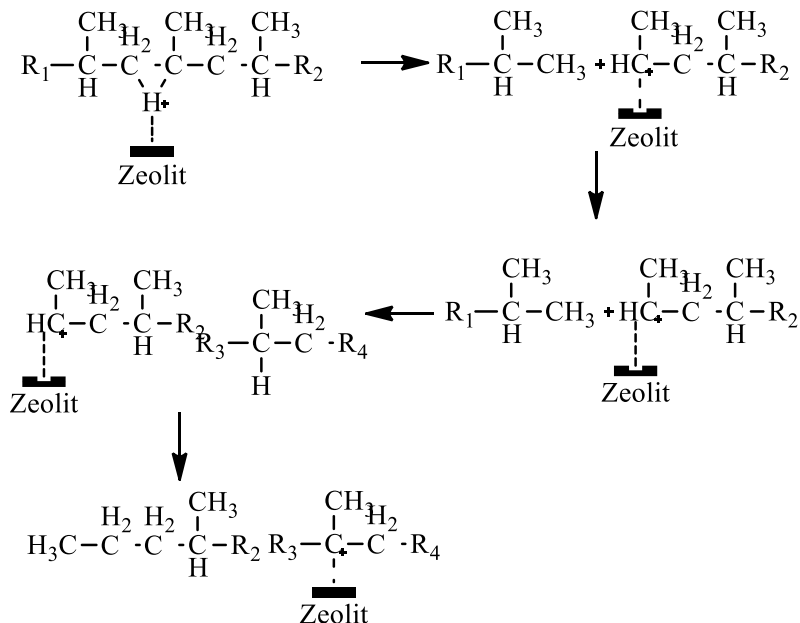
(Sibarani, 2012)

Pada temperatur > 350°C plastik akan berubah menjadi gas. Proses pendinginan dilakukan pada gas yang akan terkondensasi dan membentuk cairan. Cairan tersebut yang nantinya menjadi bahan bakar berupa bensin (Syamsiro, 2014).

### 2.8.2. Perengkahan Katalitik

Reaksi perengkahan katalis suatu hidrokarbon didahului oleh pembentukan senyawa intermediet yaitu ion karbonium. Struktur ion karbonium adalah struktur yang tidak stabil dan kekuatan asam yang lebih besar, sehingga yang terjadi adalah

pemutusan rantai karbon menjadi rantai yang lebih pendek (Arifianto, 2006).



**Gambar 2. 7** Mekanisme Perengkahan Katalitik Polipropilena dengan Zeolit (Sibarani, 2012)

Fungsi katalis asam adalah memindahkan atom hidrogen ke struktur hidrokarbon bersama dengan sepasang elektron yang terikat dengannya sehingga atom karbon bermuatan positif atau ion yang terbentuk disebut sebagai ion karbonium (karbokation) (Clark, 2008).

## 2.9. Karakterisasi Fisik Bahan Bakar Cair (BBC)

### 2.9.1. Densitas Bahan Bakar Cair (BBC)

Densitas atau massa jenis suatu sampel menunjukkan perbandingan antara massa persatuan volume. Densitas merupakan sifat yang khas setiap zat, sehingga densitas satu zat akan berbeda

dengan zat yang lainnya. Penentuan densitas bahan bakar cair dapat dilakukan dengan piknometer. Penentuan densitas bahan bakar cair penting untuk mengetahui pengaruhnya terhadap karakteristik pembakaran dan aplikasinya dalam mesin diesel. Nilai densitas juga merupakan suatu indikator terdapatnya zat – zat pengotor pada bahan bakar. Bila densitas terlalu tinggi (dari standar) maka perlu adanya perlakuan untuk memurnikan kembali dikarenakan apabila densitasnya terlalu tinggi akan berpengaruh terhadap viskositas atau laju alirnya yang berdampak pada keausan hingga kerusakan apabila diaplikasikan dalam mesin (Nurinawati, 2007).

### **2.9.2. Titik Nyala Bahan Bakar Cair (BBC)**

Titik nyala merupakan suhu terendah suatu bahan bakar apabila dipanaskan akan menguap sehingga uap yang telah bercampur dengan udara pada tekanan normal akan menyala dengan adanya percikan api. Penentuan titik nyala bahan bakar penting untuk dilakukan karena berhubungan dengan keamanan serta keselamatan dalam penyimpanan dan penanganannya. Semakin rendah titik nyala bahan bakar, maka semakin mudah terbakar. Nilai titik nyala yang terlalu rendah (dari standar) dapat menyebabkan timbulnya detonasi berupa ledakan-ledakan kecil yang terjadi sebelum bahan bakar masuk ke dalam ruang pembakaran. Sebaliknya, semakin tinggi titik nyala bahan bakar, maka semakin sulit untuk terbakar. Bahan bakar dengan titik nyala tinggi semakin aman dalam penggunaan dan penyimpanan karena tidak akan mudah terbakar pada temperatur kamar. Namun, apabila titik nyala terlalu tinggi maka akan menyebabkan keterlambatan penyalaan apabila diterapkan dalam mesin (Prihandana, 2006).

### **2.9.3. Nilai Kalor Bahan Bakar Cair (BBC)**

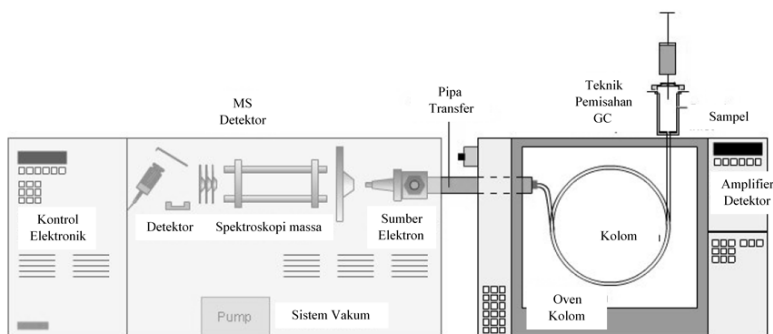
Reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen dari udara menghasilkan energi panas. Besarnya energi yang dilepaskan setiap

satu satuan bahan bakar terbakar secara sempurna disebut nilai kalor bahan bakar. Data nilai kalor suatu bahan bakar dapat digunakan untuk menghitung jumlah konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan suatu mesin dalam suatu periode pemakaian. Penentuan kalor pembakaran bahan bakar cair dilakukan dengan bom kalorimeter (Saifurizzal, 2013).

## 2.10. Instrumen Analisis

### 2.10.1. GC-MS (*Gas Chromatography – Mass Spectroscopy*)

Gas Chromatography – Mass Spectroscopy (GC-MS) adalah dua metode analisis yang dihubungkan untuk dikombinasikan menjadi metode analisa campuran senyawa kimia. Dengan menggabungkan dua metode ini, maka dapat dihitung senyawa apa saja yang terkandung dalam suatu campuran, baik secara kualitatif maupun secara kuantitatif.



**Gambar 2. 8** Skema Instrumen GC-MS (Hussain, 2014)

Kromatografi merupakan teknik pemisahan fisik komponen dalam campuran berdasarkan perbedaan kepolaran dalam fase diam karena pengaruh fase gerak. Kromatografi gas dilakukan oleh pemisahan komponen dalam campuran dengan menggunakan fase gerak berupa gas melalui fase diam. Kromatografi gas pada umumnya dilakukan untuk memisahkan dan

menganalisis senyawa yang dapat menguap tanpa dekomposisi. Teknik ini dapat digunakan untuk identifikasi senyawa yang ada dalam campuran. Sample yang menguap dalam injektor dan mengalir bersama gas pembawa menuju kolom dan detektor. Kolom berada dalam oven dengan temperatur yang dapat dikontrol. Temperatur injektor dan kolom merupakan parameter yang sangat penting karena berpengaruh pada penguapan senyawa sampel (Poole, 2012). Dalam kromatografi gas, gas pembawa berupa gas inert seperti He, H, atau N<sub>2</sub>. Gas pembawa memiliki kemurnian setidaknya mencapai 99.995% suhu injektor ditetapkan mendekati titik didih (TD) tertinggi senyawa dan biasanya lebih tinggi dari suhu oven. Semua senyawa diharapkan menguap dalam injektor (Mc Nair, 2009).

Spektroskopi massa yaitu suatu teknik analisis dimana molekul ditembak dengan elektron ber energi tinggi hingga terionisasi menjadi fragmen-fragmen yang bersifat radikal positif. Besarnya energi elektron saat menumbuk molekul tidak hanya menyebabkan molekul terionisasi tetapi juga memutuskan ikatan kimia pada titik tertentu. Suatu molekul terpecah menjadi fragmen-fragmen tergantung pada kerangka karbon dan gugus fungsi yang ada. Oleh karena itu, struktur dan massa fragmen memberikan petunjuk mengenai struktur induk (utama) yang dimiliki. Berdasarkan petunjuk tersebut memungkinkan untuk menentukan massa relatif dari sampel molekul yang diuji berdasarkan spektrum yang diperoleh (Carey, 2000).

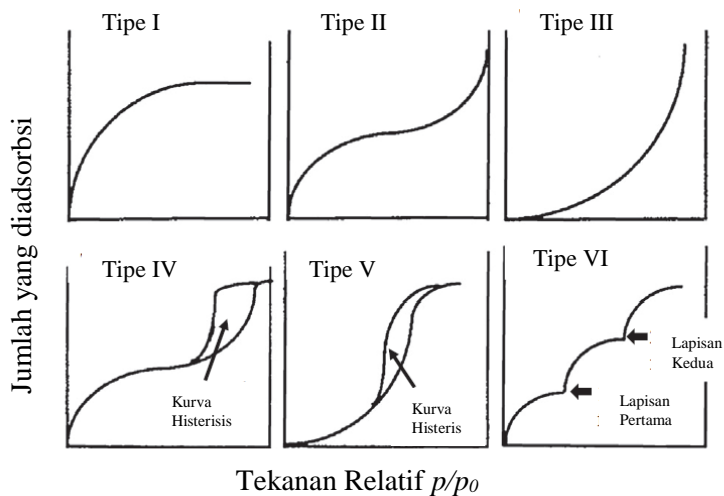
Apabila spektrometer massa ini dihubungkan dengan instrumen kromatografi gas, maka setelah masing-masing senyawa dalam campuran sampel telah terpisah dalam kolom GC, selanjutnya akan memasuki detektor ionisasi elektron. Disini, senyawa akan ditumbukkan dengan elektron yang menyebabkan senyawa – senyawa tersebut dipecah menjadi fragmen – fragmennya. Massa dari fragmen - fragmen dibagi muatan disebut



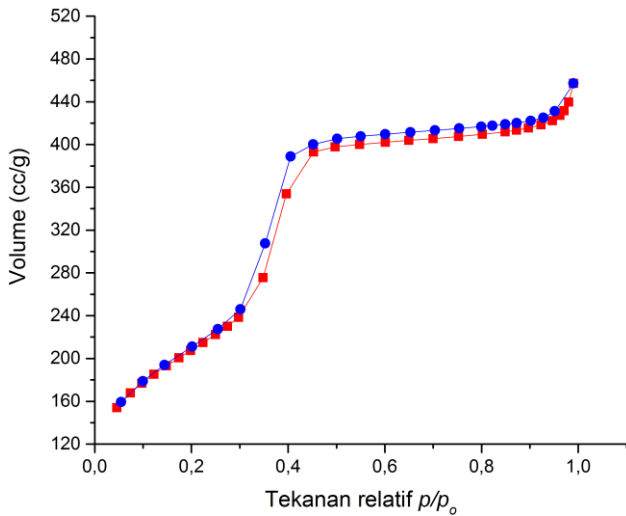
M/Z. Karena kebanyakan fragmen mempunyai muatan +1, maka nilai M/Z menggambarkan massa relatif dari fragmen molekul.

### **2.10.2. Adsorpsi – Desorpsi N<sub>2</sub>**

Data keluaran dari analisa ini adalah grafik adsorpsi-desorpsi isothermal. Tipe – tipe grafik adsorpsi-desorpsi isothermal dalam fisorpsi gas ditunjukkan pada Gambar 2.. Menurut IUPAC, grafik adsorpsi isothermal dapat diklasifikasikan menjadi enam tipe. Tipe I merupakan tipe yang khas untuk fisorpsi gas pada padatan mikropori dan kemisorpsi isothermal. Tipe I mengikuti adsorpsi isothermal Langmuir. Tipe II merupakan tipe yang biasanya terlihat pada padatan non pori, adsorpsinya multilayer. Tipe III merupakan grafik khas untuk uap, misalnya air pada padatan hidrofobik karbon aktif Gaya kohesi yang kuat terjadi antara molekul-molekul yang teradsorp. Tipe IV mirip dengan tipe II pada tekanan rendah, tetapi memperlihatkan loop histerisis yang disebabkan oleh kondensasi kapiler dalam mesopori pada tekanan tinggi. Tipe V merupakan khas untuk material mesopori. Tipe V juga has untuk uap seperti tipe III (mirip dengan tipe III pada tekanan rendah), tetapi terlihat adanya loop histerisis yang disebabkan oleh kondensasi kapiler pada mesopori pada tekanan tinggi. Tipe IV mempunyai grafik isothermal seperti anak tangga, biasanya terlihat untuk adsorpsi nitrogen pada karbon tertentu. (Adamson, 1994).



**Gambar 2. 10** Jenis – Jenis Grafik Adsorpsi Isoterm (Inagaki).

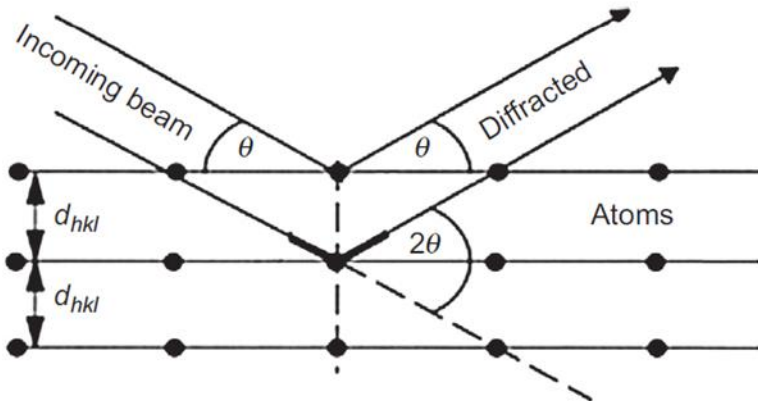


**Gambar 2. 9** Grafir Isoterm Adsorpsi – Desorpsi  $N_2$  Al-MCM-41 (Juwono dkk, 2017b)

### 2.10.3. XRD (*X-Ray Diffraction*)

XRD adalah metode karakterisasi yang digunakan untuk mengetahui ciri utama kristal, seperti parameter kisi dan tipe struktur. Selain itu, juga dimanfaatkan untuk mengetahui rincian lain seperti susunan berbagai jenis atom dalam kristal, kehadiran cacat, orientasi, dan cacat kristal. Difraksi sinar-X pertama kali ditemukan oleh Max von Laue tahun 1913 dan pengembangannya oleh Bragg, merupakan salah satu metode baku yang penting untuk mengkarakterisasi material. Sejak saat itu sampai sekarang metode difraksi sinar-X digunakan untuk mendapatkan informasi struktur kristal material logam maupun paduan, mineral, senyawa anorganik polimer, material organik, superkonduktor (Suharyana, 2012).

Prinsip dari metode yang digunakan pada difraksi sinar-X melalui bidang periodik atom dan sudut atau energi deteksi dari sinyal difraksi. Interpretasi geometri dari fenomena *XRD* (interferensi konstruktif) diberikan oleh W.L.Bragg pada Gambar 2.10 memberikan penjelasan lengkap mengenai kondisi geometri untuk difraksi dan penentuan dari hukum Bragg.



**Gambar 2. 11** Kondisi geometri untuk difraksi dari bidang kisi (Epp, 2016)

XRD mengikuti Hukum Bragg yang didefinisikan sebagai berikut

$$n \lambda = 2d \sin \Theta \quad (2.1)$$

Keterangan:

$n$  = orde bias (0, 1, 2, 3,.....)

$\lambda$  = panjang gelombang sinar-X (nm)

$d$  = jarak antara dua bidang kisi (cm)

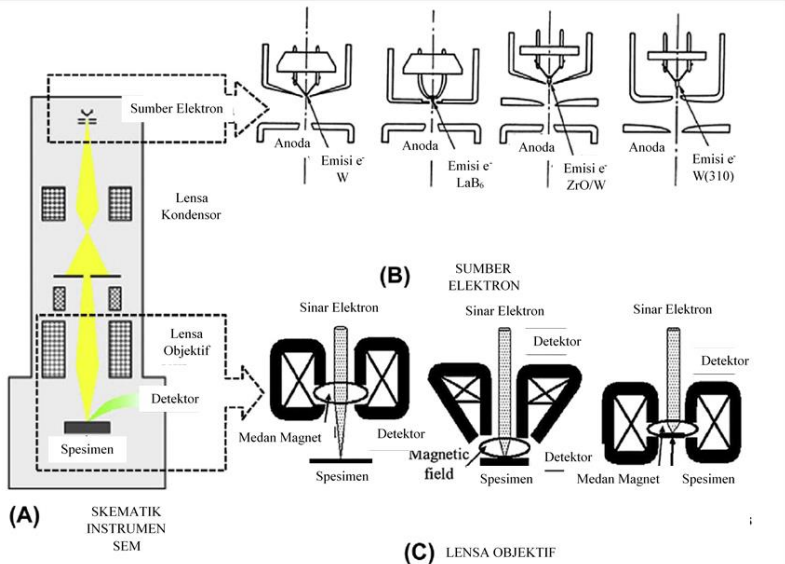
$\theta$  = sudut antara sinar datang dengan bidang normal

Ukuran kristal rata-rata dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Scherrer, yaitu :

$$T = \frac{0,9 \lambda}{B \cos \theta} \quad (2.2)$$

#### **2.10.4. SEM (*Scanning Electron Microscope*)**

Untuk mengetahui morfologi senyawa padatan dan komposisi unsur yang terdapat dalam suatu senyawa dapat digunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM). SEM adalah suatu tipe mikroskop electron yang menggambarkan topografi permukaan sampel melalui proses scan dengan menggunakan pancaran energi yang tinggi dari electron dalam suatu pola. Electron berinteraksi dengan atom – atom yang membuat sampel menghasilkan sinyal yang memberikan informasi mengenai permukaan topografi sampel, komposisi dan sifat – sifat lainnya seperti konduktivitas listrik (Anita, 2012).



**Gambar 2. 12** Scanning Electron Microscope (SEM) (Inagaki, 2016)

### 2.11. Spesifikasi Bahan Bakar Cair Jenis *Gasoline*

Untuk memenuhi kinerja suatu motor kendaraan yang tinggi, bensin yang dihasilkan harus memenuhi persyaratan spesifikasi. Yang dimaksud spesifikasi adalah ketentuan yang menetapkan batas-batas kualitas suatu produk atau dapat juga diartikan sebagai ketentuan optimal yang harus mengkompromikan kebutuhan ideal para pemakai serta kemampuan teknis dan ekonomis pihak pemasok. Selain itu, segi keselamatan masyarakat umum yang mungkin dipengaruhi oleh dampak penggunaan dan penanganan produk tersebut juga harus diperhitungkan.

Spesifikasi bensin yang ditetapkan oleh badan standarisasi mencakup pertimbangan mengenai kebutuhan ideal kendaraan bermotor, emisi yang dihasilkan bahan bakar dan dampak yang muncul terhadap lingkungan, telah dibuat peraturan yang

membatasi kandungan-kandungan yang ada didalam bahan bakar jenis *Gasoline*.

**Tabel 2. 2** Spesifikasi Bahan Bakar Jenis *Gasoline* Berdasarkan ASTM (Ahmad dkk, 2017)

Sifat	Metode	Standar ASTM <i>Gasoline</i>
<b>Sifat Fisik</b>		
Densitas Pada 15 °C (g/cm <sup>3</sup> )	ASTM D 1480	0.72 – 0.78
API Gravity Pada 60 °F	ASTM D 4052	55
Kadar Abu (% berat)	ASTM D 86	-
Kadar Residu Karbon (% berat)	ASTM D 189 - 05	0.14
<b>Sifat Alir</b>		
Viscositas Pada 40 °C (mm <sup>2</sup> /s)	ASTM D 445	1.17
Titik Alir (°C)	ASTM D 97 - 05	-
<b>Sifat Pembakaran</b>		
Nilai Kalor (MJ/Kg)	ASTM D 4809 - 13	42.5
Titik Nyala (°C)	ASTM D 93	42
Titik Lilin (°C)	ASTM D 611 - 04	71
Indeks Diesel		-
<b>Sifat <i>Anti-Knock</i></b>		
Angka Oktan (MON)	ASTM D 2885	81 – 85
Angka Oktan (RON)		91 – 95
Angka <i>Cetane</i>	ASTM D 613	-
Indeks <i>Anti-Knock</i>		86

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Alat dan Bahan**

##### **3.1.1. Alat**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alu dan mortar, *press pellet*, desikator, alat *X-Ray Diffraction* (XRD), Micromeritics TriStar II 3020 *Automatic physisorption Analyzer*, *Gas Chromatograph-Mass Spectrophotometer* (GC-MS) jenis GCMS-QP2010S SHIMADZU (Kolom AB 5MS), Reaktor pirolisis, Reaktor katalitik, bom kalorimeter, piknometer 10 mL, cawan penguap, *freezer*, termometer, dan neraca analitik.

##### **3.1.2. Bahan**

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Biji Nyamplung (*Callophylum Illophylum*) didapat dari pantai Camplong Sampang Madura, limbah plastik polipropilena (PP) dari Tempat Pembuangan Sampah Trowulan Mojokerto, katalis Al-MCM-41 dari penelitian sebelumnya oleh Juwono dkk. (2013), keramik busi, Methanol PA dari Merck, dan  $H_3PO_4$  dari Merck.

#### **3.2. Prosedur Penelitian**

##### **3.2.1. Produksi Bahan Bakar Cair dari Limbah Plastik Polipropilena**

Pada penelitian ini sampel berupa limbah plastik polipropilena (PP) khususnya kemasan gelas air mineral dibersihkan dan dikeringkan kemudian dipotong dengan ukuran kecil ( $1-2\text{ cm}^2$ ). Potongan limbah plastik PP ditimbang dengan berat 500 gram dan disimpan dalam wadah yang kering.

Produksi bahan bakar cair dilakukan dengan prinsip destilasi. Perengkahan termal limbah plastik dilakukan dalam reaktor tertutup. Pada reaktor ini terdapat bagian utama yakni chamber reactor, konektor, kondensor, dan labu penampung.

Chamber reactor berkapasitas 2 L digunakan sebagai tempat terjadinya proses perengkahan atau perengkahan. Sebanyak 500 g sampel limbah plastik polipropilena (PP) cacahan dimasukkan ke dalam chamber reactor. Konektor disusun sedemikian rupa hingga melekat pada sisi atas chamber reactor. Reaktor dipanaskan hingga mencapai suhu 250°C dengan total proses reaksi selama 120 menit.. Sampel dikonversi menjadi gas dan dialirkan menuju kondensor melalui konektor. Hasilnya dikondensasi menjadi bahan bakar cair oleh kondensor. Bahan bakar cair ditampung dalam oil tank yang berada di bagian bawah sistem. Produksi bahan bakar cair dilakukan hingga didapatkan 2 L bahan bakar cair plastik.

### **3.2.2. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nyamplung**

Pada penelitian ini biodiesel minyak nyamplung diperoleh dari penelitian Juwono, 2017. Biji nyamplung dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 100 °C selama 2 jam sampai kadar air kurang dari 5%. Biji nyamplung kering yang didapat ditekan untuk mendapatkan minyak biji nyamplung mentah. Sejumlah 1 L minyak biji Nyamplung mentah ditempatkan dalam beaker lalu ditambahkan 50 mL  $H_3PO_4$ . Campuran dihomogenisasi menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam, dan dibiarkan selama 24 jam agar terbentuk dua lapisan yang terpisah. Lapisan atas (merupakan minyak biji Nyamplung) dikumpulkan untuk percobaan lebih lanjut. Proses transesterifikasi dilakukan dengan penambahan metanol 15% (v / v) pada minyak biji nyamplung dengan perbandingan 1: 3 dengan katalis Al-MCM-41 sebanyak 2.5 % dari berat minyak biji nyamplung mentah, kemudian dipanaskan dalam reaktor batch. Reaksi diaduk pada 350 rpm, dan dipanaskan pada suhu 60 °C selama 2 jam. Hasil transesterifikasi di tempatkan pada corong pisah dan akan terbentuk dua lapisan setelah 5 jam, dan biodiesel yang diperoleh berada di lapisan bawah.



### 3.2.3. Preparasi Katalis

Katalis Al-MCM-41 diaktivasi pada oven dengan suhu 80 °C. Katalis Al-MCM-41 kemudian dimasukkan ke dalam desikator. Katalis Al-MCM-41 yang teraktivasi dicampurkan dengan serbuk keramik yang telah digerus dan dihancurkan hingga halus. Rasio katalis dan keramik yang digunakan sebesar 7 : 3 (Katalis Al-MCM-41 : Serbuk Keramik) dan dibentuk menjadi pellet dengan press pellet.

### 3.2.4. Produksi Bahan Bakar Cair Plastik dengan Ko-reaktan Biodiesel Minyak Biji Nyamplung

Sampel pada penelitian ini berupa minyak dari limbah plastik polipropilena dan biodiesel minyak biji nyamplung. Katalis Al-MCM-41 : Keramik ( 7 : 3 ) ditimbang 9 g dan dibentuk menjadi *pellet* dengan *press pellet* menjadi 10 pellet. Pellet yang terbentuk dimasukkan ke dalam *tubular reactor*. Pada bagian *tubular reactor* diberi kassa kawat dan *glass wool* dan ditambahkan 5 pellet, kemudian *glass wool*, dan ditambahkan 5 pellet, *glass wool* dan ditutup dengan kassa kawat.

Perengkahan katalitik plastik dan ko-reaktan biodiesel minyak nyamplung dilakukan dalam reaktor tertutup. Tipe reaktor yang digunakan yaitu *continuous reactor*. Pada reaktor ini terdapat bagian utama yakni *chamber reactor* dan *tubular reactor*. *Chamber reactor* berkapasitas 500 mL digunakan sebagai tempat terjadinya proses perengkahan atau perengkahan. *Tubular reactor* digunakan sebagai wadah katalis dan tempat terjadinya perengkahan katalitik. *Tubular reactor* diletakkan pada atas reaktor sehingga gas hasil perengkahan dapat mengalir dengan mudah menuju *tubular reactor* untuk mengalami reaksi katalisis. *Tubular reactor* terhubung langsung dengan kondensor yang mengkondensasi hasil perengkahan katalitik. Hasil kondensasi berupa cairan akan tertampung di dalam oil tank yang terletak di bawah kondensor.

Produksi bahan bakar cair dari limbah plastik polipropilena dengan ko-reaktan biodiesel minyak biji nyamplung dilakukan dengan prinsip destilasi. Dalam penelitian ini produksi bahan bakar cair dari limbah plastik polipropilena ko-reaktan biodiesel minyak biji nyamplung dilakukan dengan variasi perbandingan % volume minyak dari limbah plastik polipropilena dengan biodiesel minyak biji nyamplung dengan volume total 300 mL. Variasi pertama (V1) dilakukan perengkahan katalitik dengan reaktan bahan bakar cair plastik 100% dan biodiesel minyak nyamplung 0%. Variasi kedua (V2) dilakukan perengkahan katalitik dengan reaktan bahan bakar cair plastik 80% dan biodiesel minyak nyamplung 20%. Variasi ketiga (V3) dilakukan perengkahan katalitik dengan reaktan bahan bakar cair plastik 60% dan biodiesel minyak nyamplung 40%. Variasi keempat (V4) dilakukan perengkahan katalitik dengan reaktan bahan bakar cair plastik 50% dan biodiesel minyak nyamplung 50%. Variasi kelima (V5) dilakukan perengkahan katalitik dengan reaktan bahan bakar cair plastik 40% dan biodiesel minyak nyamplung 60%.

### **3.2.5. Karakterisasi Bahan Bakar Cair**

Karakteristik bahan bakar cair (BBC) sangat penting untuk diketahui guna menentukan keberhasilan perengkahan. Bila BBC yang dihasilkan memiliki karakteristik yang sesuai dengan standar bahan bakar jenis bensin premium, proses perengkahan katalitik berhasil dan produk yang dihasilkan tersebut merupakan BBC dengan fraksi hidrokarbon seperti bensin premium. Ada beberapa parameter pengujian fisik yang digunakan dalam penelitian ini: densitas, viskositas, titik nyala, titik didih dan nilai kalor. Selain pengujian karakter fisik, dilakukan pula pengujian dengan analisis *Gas Chromatography-Mass Spectrometer* (GC-MS).

### **3.2.5.1. Penentuan Densitas Bahan Bakar Cair**

Penentuan densitas bahan bakar cair dapat dilakukan dengan piknometer. Piknometer kosong yang telah tercatat volume serta tertimbang massanya diisi dengan sampel bahan bakar cair hingga memenuhi saluran rongga tutup piknometer kemudian ditimbang kembali massanya. Densitas sampel bahan bakar cair diperoleh dari perbandingan massa sampel (diperoleh dari selisih massa piknometer terisi dan piknometer kosong) terhadap volume piknometer. Penentuan densitas bahan bakar cair dilakukan pada suhu 15°C.

### **3.2.5.2. Penentuan Titik Nyala Bahan Bakar Cair**

Sampel produk berupa bahan bakar cair dituangkan ke dalam cawan penguap. Termometer dipasang di atas cawan penguap hingga menyentuh bahan bakar cair. Sumber api diperoleh dari pemantik api yang dipantik secara terus menerus pada permukaan sampel. Suhu yang tercatat merupakan suhu yang terbaca pada termometer saat terjadi nyala pertama setelah diberikan sumber api.

### **3.2.5.3. Penentuan Kalor Pembakaran Bahan Bakar Cair**

Penentuan kalor pembakaran produk bahan bakar cair menggunakan bom kalorimeter. Sebanyak 0,5 gram produk bahan bakar cair dimasukkan ke dalam krusibel dan dimasukkan ke dalam baja bom. Bom ditutup rapat lalu diisi dengan oksigen ( $O_2$ ) hingga tekanan 30 atm dan dimasukkan ke dalam kalorimeter yang berisi air. Setelah preparasi dilakukan maka proses pembakaran dapat dilakukan dengan mengalirkan listrik ke dalam kalorimeter. Nilai kalor yang terserap oleh kalorimeter ditampilkan pada monitor.

### 3.2.5.4. Gas Chromatograph-Mass Spectrophotometer (GC-MS)

Bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan dikarakterisasi dengan instrumen GC-MS *Agilent Technologies 7890A GC-5975MS*. Sebanyak 50 mg sampel produk bahan bakar cair dilarutkan dalam 1 mL n-heksana, lalu sampel diinjeksikan ke inlets kromatografi dan diproses selama 42 menit. *Gas Chromatograph-Mass Spectrophotometer (GC-MS)* dikondisikan sebagai berikut:

1. Inlets
  - Jumlah suntikan: 1  $\mu$ L
  - Suhu : 310 °C
  - Tekanan : 13 KPa
  - Ratio : 66.8
2. Oven
  - Suhu awal : 50 °C
  - Suhu akhir : 300 °C
  - *Hold time* : 1,8 menit
  - Laju : 5°C/menit
3. Kolom
  - Tipe : AB 5MS
  - Gas : Helium
  - Aliran gas : 0,55 mL/menit

### 3.2.6. Karakterisasi Katalis Al-MCM 41 : Keramik ( 7 : 3 )

Sifat tekstur katalis dievaluasi menggunakan adsorpsi-desorpsi N<sub>2</sub> (Micromeritics TriStar II 3020 Automatic physisorption Analyzer). Katalis Al-MCM 41 : Keramik ( 7 : 3 ) di vakum pada 300 °C selama 1 jam untuk menghilangkan gas yang terandung di dalamnya. Persamaan Brunauer-Emmett-Teller digunakan untuk menghitung area permukaan dengan

menggunakan data adsorpsi yaitu  $p/p_0 = 0,05 - 0,25$ . Volume pori diukur melalui metode Barrett-Joyner-Halenda (BJH).

Pola Serbuk X-ray Diffraction (XRD) dianalisa di Departemen Material Metalurgi ITS dengan sumber sinar-X dari Cu K $\alpha$ , yang dioperasikan pada 40 kV dan 40 mA. Hamburan sudut  $2\theta$  diubah dari  $10^\circ$  hingga  $80^\circ$ .

Ukuran partikel dan morfologi permukaan sampel dievaluasi menggunakan *scanning electron microscope* (SEM, FEI Quanta 200 F).

### **3.2.7. Metode eksperimental dan evaluasi data**

Desain experimental gabungan digunakan untuk optimalisasi kondisi proses dan hasil produk bahan bakar cair Plastik Ko-reaktan biodiesel minyak nyamplung pada perengkahan katalitik bertingkat.

Yield produk spesifik dihitung berdasarkan persamaan berikut

$$\text{Yield produk} = \frac{\text{Volume Produk}}{\text{Volume reaktan}} \times 100\%$$

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Produksi Bahan Bakar Cair**

Pada penelitian ini, dilakukan metode perengkahan untuk mengolah limbah plastik jenis PP dan biodiesel minyak nyamplung sehingga didapatkan BBC dengan fraksi hidrokarbon seperti gasolin. Proses perengkahan dapat menghasilkan produk BBC dengan kualitas dan kuantitas yang lebih maksimal bila dalam reaksinya dibantu oleh katalis. Hasil perpaduan antara plastik dan minyak nyamplung perlu dikarakterisasi karena komposisi dua bahan ini sangat berdampak terhadap produk BBC yang terbentuk. Untuk mengetahui komposisi yang menghasilkan BBC dalam jumlah besar serta sesuai spesifikasi dari BBC gasolin, dilakukan variasi komposisi terhadap minyak dari limbah plastik polipropilena dan ko-reaktan biodiesel minyak biji nyamplung pada proses perengkahan.

Produk BBC yang diperoleh dilakukan karakterisasi fisik berupa titik nyala, densitas dan nilai kalor untuk mengetahui BBC yang dihasilkan memiliki karakteristik fisik yang serupa dengan bahan bakar jenis premium dengan SNI 06-3506-1994. Uji menggunakan analisis *Gas Chromatography – Mass Spectrometer* (GC-MS) dilakukan untuk mengetahui komponen penyusun pada bahan bakar cair yang dihasilkan. Apabila karakteristik fisik serupa dan komponen yang dihasilkan memenuhi spesifikasi dari bahan bakar jenis premium maka hasil dari bahan bakar cair ini dapat digunakan sebagai salah satu alternatif pengganti bahan bakar jenis premium serta mengatasi masalah pengolahan limbah plastik polipropilena.

#### **4.1.1.Produksi Bahan Bakar Cair Plastik**

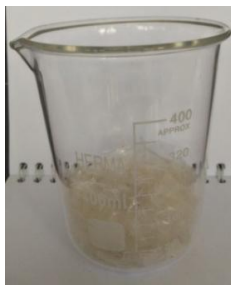
Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini berupa polipropilena (PP). Polipropilena diperoleh dari limbah gelas plastik yang sering dijumpai pada kehidupan sehari-hari. Plastik polipropilena yang digunakan dalam penelitian ini merupakan gelas plastik ukuran 240 ml seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



**Gambar 4. 1** Gelas Plastik Polipropilena

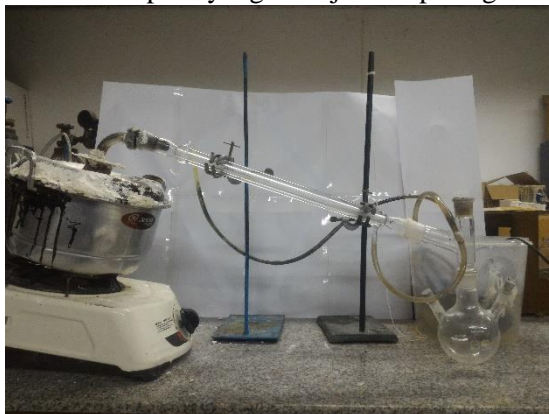
Gelas plastik yang digunakan tidak berwarna, lentur dan fleksibel. Gelas plastik polipropilena dikumpulkan dari tempat pembuangan akhir (TPA) Trowulan, Mojokerto. Pada TPA dilakukan pengolahan pada gelas plastik hingga menjadi cacahan. Ukuran cacahan gelas plastik beragam dengan ukuran rata-rata 1-2 cm<sup>2</sup> seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Gelas plastik dibentuk menjadi cacahan untuk memperkecil ukuran limbah sehingga reaksi perengkahan plastik dapat berlangsung lebih cepat. Cacahan plastik ditimbang dengan berat 500 gram untuk satu kali proses perengkahan.





**Gambar 4. 2** Cacahan Limbah Plastik Polipropilena

Dalam penelitian ini dilakukan pengolahan plastik menjadi bahan bakar cair dengan perengkahan pertama tanpa katalis. Konversi awal yang dilakukan menggunakan perengkahan termal. Sintesis bahan bakar minyak plastik dilakukan dalam reaktor jenis *continuous reactor* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3.



**Gambar 4. 3** Sistem Reaktor Pirolisis Polipropilena

Perengkahan katalitik limbah plastik dilakukan dalam reaktor tertutup. Pada reaktor ini terdapat bagian utama yakni *chamber reaktor*, konektor, kondensor, dan labu penampung. *Chamber reaktor* berkapasitas 2 L digunakan sebagai tempat terjadinya proses perengkahan atau perengkahan. Konektor digunakan sebagai penghubung *chamber reaktor* dengan

kondensor. Kondensor berfungsi untuk mengubah fasa gas bahan bakar ke fasa cair dengan menurunkan temperatur. Labu penampung berfungsi untuk menampung hasil sintesis bahan bakar cair dari plastik. Konektor diletakkan pada atas reaktor sehingga gas hasil perengkahan dapat mengalir dengan mudah menuju kondensor untuk proses kondensasi. Hasil kondensasi berupa cairan akan tertampung di dalam *oil tank* yang terletak di bawah kondensor.

Sintesis bahan bakar cair dilakukan dengan prinsip destilasi. Sebanyak 500 g sampel limbah plastik polipropilena (PP) cacahan dimasukkan ke dalam *chamber reactor*. Konektor disusun sedemikian rupa hingga melekat pada sisi atas chamber reaktor. Reaktor dipanaskan hingga mencapai temperatur 250 °C dengan total proses reaksi selama 120 menit.. Sampel dikonversi menjadi gas dan dialirkan menuju kondensor melalui konektor. Hasilnya dikondensasi menjadi bahan bakar cair. Bahan bakar cair ditampung dalam *oil tank* yang berada di bagian bawah sistem. Pada satu kali reaksi perengkahan plastik dalam waktu 120 menit didapatkan sekitar 600 mL bahan bakar cair minyak plastik. Produk minyak plastik ditunjukkan pada Gambar 4.4. Minyak plastik yang didapatkan berupa cairan kuning jernih.



**Gambar 4. 4** Hasil Perengkahan Termal Polipropilena

#### 4.1.2. Hasil Produksi Bahan Bakar Cair dari Limbah Plastik Polipropilena dengan Ko-Reaktan Biodiesel Minyak Biji Nyamplung

Sampel pada produksi bahan bakar cair dari limbah plastik polipropilena dengan ko-reaktan biodiesel minyak biji nyamplung ini berupa minyak dari limbah plastik polipropilena dan biodiesel minyak biji nyamplung. Reaktan yang digunakan pada percobaan ini adalah variasi komposisi plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak nyamplung.

Dalam penelitian ini digunakan metode perengkahan katalitik dengan katalis Al-MCM-41. Al-MCM-41 diperoleh dari penelitian sebelumnya oleh Juwono dkk (2013). Katalis Al-MCM-41 berupa serbuk halus berwarna putih. Katalis Al-MCM-41 dicampur dengan busi keramik yang berwarna abu-abu dengan perbandingan 7 : 3 (Al-MCM-41 : Keramik) seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5(a). Keramik berfungsi sebagai material pendukung untuk memaksimalkan proses perengkahan katalitik. Campuran Al-MCM-41 dan keramik dibentuk menjadi butir *pellet* dengan massa total 9 g (3% b/b dari reaktan) seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5(b). Kinerja katalis lebih maksimal dengan bentuk *pellet* yang tidak terlalu padat dan rapat sehingga reaktan dan katalis dapat berinteraksi dengan baik.



(a)



(b)

**Gambar 4. 5** (a) Katalis Al-MCM-41 : Keramik Busi (7 : 3), (b) Pellet Katalis

Perengkahan katalitik Plastik Ko-reaktan biodiesel minyak nyamplung dilakukan dalam reaktor tertutup. Tipe reaktor yang digunakan yaitu *continuous reactor*. Pada reaktor ini terdapat bagian utama yakni *chamber reactor* dan *tubular reactor*. *Chamber reactor* berkapasitas 540 mL digunakan sebagai tempat terjadinya proses perengkahan atau perengkahan. Reaktan berupa campuran dari plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak nyamplung dimasukkan pada *chamber reactor*. Dialirkan gas nitrogen pada *chamber reactor* untuk menghilangkan gas oksigen pada sistem reaktor sehingga mengurangi terjadinya reaksi oksidasi pada saat perengkahan. Pemanasan dilakukan pada suhu 300 °C dengan waktu reaksi selama 120 menit. Pemanasan ini akan mengubah fase campuran antara minyak plastik dan biodiesel minyak nyamplung dari cair menjadi gas. Selanjutnya gas yang terbentuk akibat pemanasan pada *chamber reactor* akan mengalir menuju *tubular reactor* sedangkan fraksi yang lebih berat akan tetap berada pada *chamber reactor*. Skema reaktor seperti pada Gambar 4.6.



**Gambar 4. 6** Sistem Reaktor Perengkahan Katalitik Minyak Plastik : Biodiesel Minyak Nyamplung

Terbentuknya produk yang berbeda ini menunjukkan perbedaan fraksi pada produk hasil perengkahan. Fraksi yang berat akan tetap berada pada *chamber reactor* menjadi kokas sedangkan fraksi ringan akan menekan ke segala arah salah satunya, menuju *tubular reactor*. *Tubular reactor* digunakan sebagai wadah katalis dan tempat terjadinya perengkahan katalitik. *Tubular reactor* disusun dengan komposisi bertingkat dengan urutan *glass wool*, katalis, *glass wool*, katalis dan *glass wool*. *Glass wool* digunakan sebagai penahan agar katalis tidak bergerak dari *tubular reactor*. *Glass wool* sendiri memiliki sifat isolator panas sehingga tahan terhadap suhu tinggi pada rangkaian reaktor. Pengisian *glass wool* pada *tubular reactor* tidak dimampatkan agar masih menyisakan ruang untuk gas hasil perengkahan plastik untuk menuju katalis serta keluar dari *tubular reactor* kemudian masuk pada kondensor. Pada perengkahan katalitik terjadi pemutusan ikatan karbon beta pada reaktan fase gas berupa fraksi ringan hasil perengkahan dari *chamber reactor* dengan berikatannya pada sisi aktif katalis Al-MCM-41. *Tubular reactor* diletakkan pada atas reaktor sehingga gas hasil perengkahan dapat mengalir dengan mudah menuju *tubular reactor* untuk mengalami reaksi katalisis. *Tubular reactor* terhubung langsung dengan kondensor yang mengkondensasi hasil perengkahan katalitik. Hasil kondensasi berupa cairan akan tertampung di dalam oil tank yang terletak di bawah kondensor.

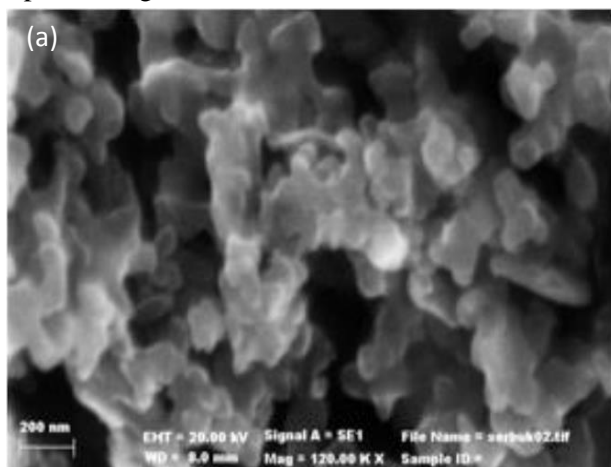


**Gambar 4. 7** Hasil Perengkahan Katalitik Bahan Bakar Cair dengan Variasi feedstock

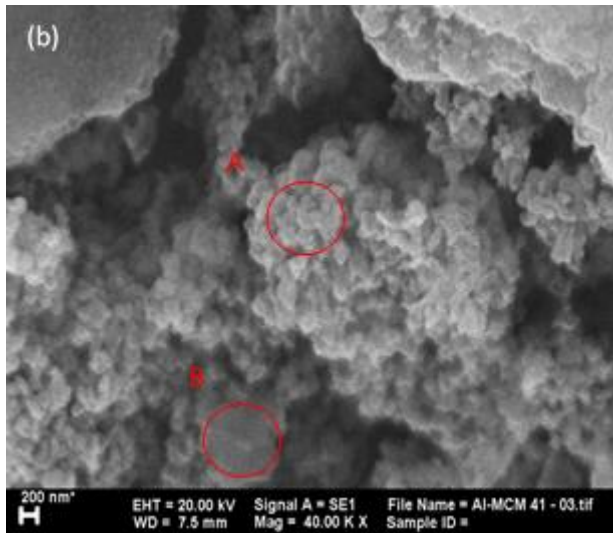
## **4.2. Karakterisasi Katalis (Al-MCM-41 : Keramik Busi)**

### **4.2.1. Hasil Karakterisasi SEM**

Pada SEM, terlihat Al-MCM-41 menempel pada permukaan keramik. Penampakan Al-MCM-41 ditunjukkan pada A di Gambar 4.8 (b) dan penampakan keramik ditunjukkan pada B di Gambar 4.8 (b). Pada Al-MCM-41 murni, terlihat permukaan yang halus berupa aglomerasi dari padatan dengan struktur heksagonal, sedangkan pada variasi Al-MCM-41: keramik (7:3), terdapat partikel partikel halus dengan struktur heksagonal menempel pada permukaan keramik yang berfungsi sebagai padatan pendukung.



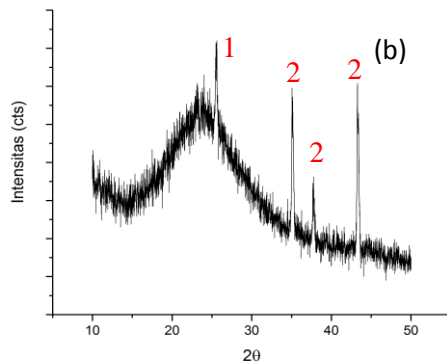
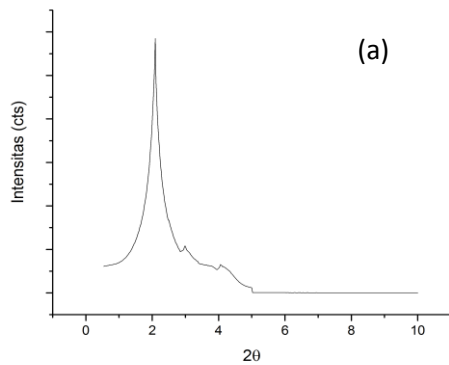
**Gambar 4. 8** Morfologi Katalis Al-MCM-41



**Gambar 4. 9** Morfologi Katalis Al-MCM-41 : Keramik busi (7 : 3)

#### **4.2.2. Hasil Karakterisasi XRD**

Pada SAXRD puncak pada  $2\theta = 0,5^\circ - 4,9^\circ$  merupakan SAXRD dari penelitian yang dilakukan oleh (Juwono et al., 2017) yang digabungkan dengan XRD Al-MCM-41 : keramik pada  $2\theta 5^\circ - 10^\circ$ . Puncak yang didapatkan terlihat turun dari puncak sebelumnya, sehingga penggabungan dua XRD ini cocok apabila disatukan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9.



**Gambar 4. 10** (a) Defraktogram Puncak khas MCM-41 , (b) Defraktogram Al dan Defragtogram Keramik Busi.

Gambar 4.9 Grafik XRD dari campuran Al-MCM-41 dengan keramik busi menunjukkan bahwa, adanya keramik busi tidak merusak struktur Al-MCM-41 dan puncak Al-MCM-41 tetap ada. Pada  $2\theta$  di atas  $22,5^\circ$  terlihat puncak alami dari silika. Pada  $2\theta$  25,5797 seperti ditunjukkan pada nomor 1 di Gambar 4.9 (b)

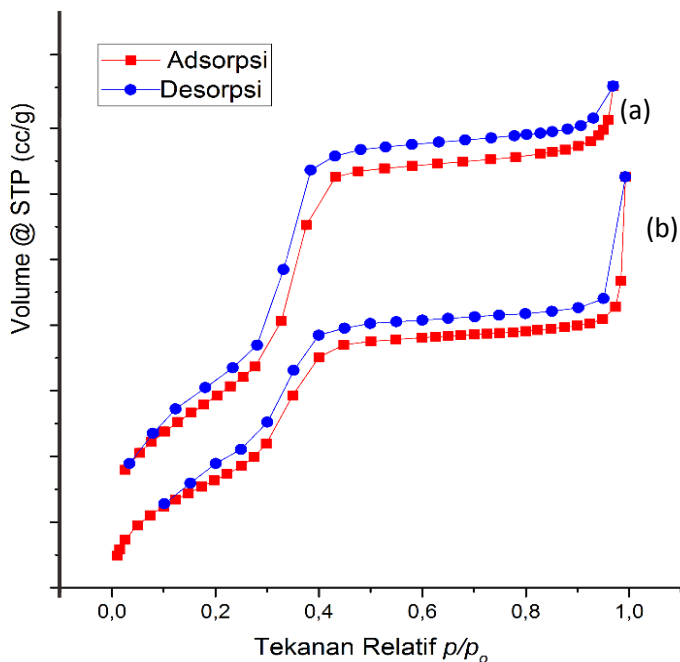


merupakan puncak kristal khas dari Al yang bergeser pada rentang  $2\theta$  di atas  $20^\circ$ . Pada  $2\theta$   $35,0866^\circ$ ,  $37,7459^\circ$ ,  $43,2584^\circ$  seperti ditunjukkan pada nomor 2 di Gambar 4.11 (b) merupakan puncak kristal khas dari keramik. Hal ini menunjukkan bahwa katalis Al-MCM-41 : keramik (7:3) tidak mengubah struktur kristal dari Al-MCM-41 maupun keramik.

#### **4.2.3. Hasil Karakterisasi Adsorpsi – Desorpsi $N_2$**

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa grafik isotherm dari campuran Al-MCM-41 dengan keramik busi merupakan grafik isotherm tipe IV. Grafik isotherm tipe IV merupakan grafik khas dari Al-MCM-41. Isotherm tipe IV merupakan adsorpsi yang terjadi lapis demi lapis pada permukaan material yang beragam. Informasi ini juga memperkuat bukti bahwa campuran Al-MCM-41 dengan keramik busi tidak merubah sifat khas dari Al-MCM-41. Dari hasil BET juga diperoleh informasi bahwa luas permukaan campuran Al-MCM-41 dengan keramik busi meningkat daripada Al-MCM-41 murni yang disintesis oleh Juwono. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan keramik busi dapat meningkatkan luas permukaan Al-MCM-41.

Luas permukaan katalis Al-MCM-41 : keramik (7:3) dibandingkan dengan katalis Al-MCM-41 pada penelitian oleh (Juwono dkk., 2017), didapatkan bahwa luas permukaan meningkat disebabkan karena bertambahnya luas permukaan dari keramik. Volume pori dan radius rata-rata mengalami kenaikan akibat dari pencampuran dengan keramik karena tarikan padat-padat.



**Gambar 4. 11** (a) Grafik isoterm Al-MCM-41 referensi (b) Grafik isoterm Al-MCM-41 : Keramik

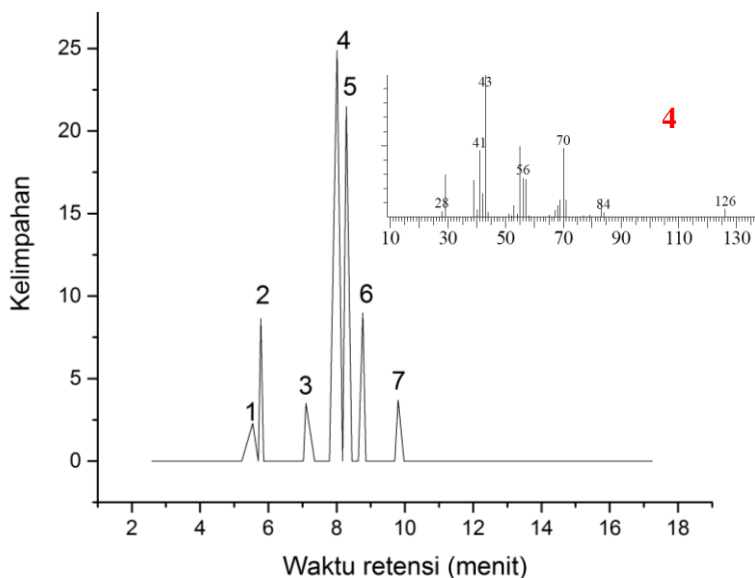
**Tabel 4. 1** Data Hasil Uji Adsorpsi – Desorpsi N<sub>2</sub>

No.	Katalis	Luas Permukaan (m <sup>2</sup> /g)	Volume Pori (cc/g)	Pori Rata-rata Radi (Å)
1	Al-MCM-41	419,93	0,50	15,12
2	Al-MCM-41 : Keramik (7:3)	490,665	0,546	22,22

### 4.3. Karakterisasi Bahan Bakar Cair

#### 4.3.1. Analisa Bahan Bakar Cair Dengan GC-MS

Bahan bakar cair dianalisa komposisi hidrokarbon yang terkandung didalamnya dengan menggunakan instrumen GC – MS. Berdasarkan analisa, diperoleh bahwa hasil perengkahan campuran minyak plastik dengan biodiesel minyak nyamplung dengan berbagai variasi komposisi tidak menghasilkan fraksi bensin (C7-C12) saja, melainkan mengandung fraksi hidrokarbon rantai pendek (C1-C6) maupun fraksi hidrokarbon rantai panjang (>C12). Pada puncak kromatogram bahan bakar cair, fraksi bensin (C7-C12) teramati pada temperatur di bawah 310 °C yaitu 20 menit pertama saat pemisahan kromatografi terjadi seperti yang ditunjukkan oleh kromatogram bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan 100 % (P) : 0 % (N) pada Gambar 4.11.



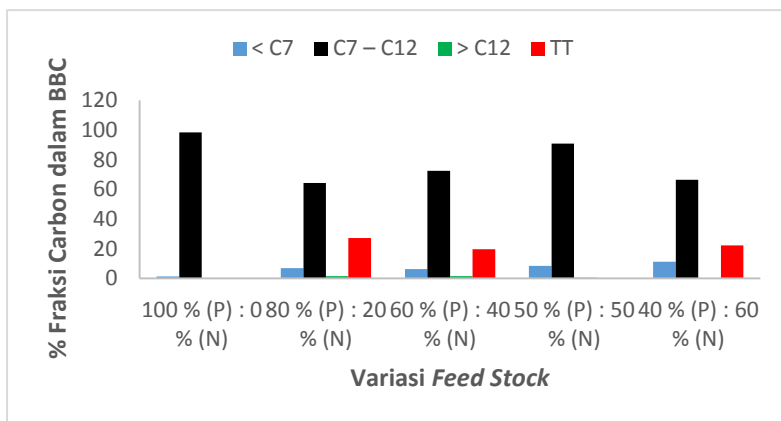
**Gambar 4. 12** Kromatogram Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan 100 % (P) : 0 % (N)

Hasil analisis kromatogram bahan bakar cair hasil perengkahan seluruh variasi secara lengkap dapat dilihat pada lembar lampiran. *Yield* hidrokarbon bahan bakar cair (BBC) setiap variasi ditunjukkan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4. 2** % Fraksi Komposisi Rantai Hidrokarbon dalam Bahan Bakar Cair (BBC)

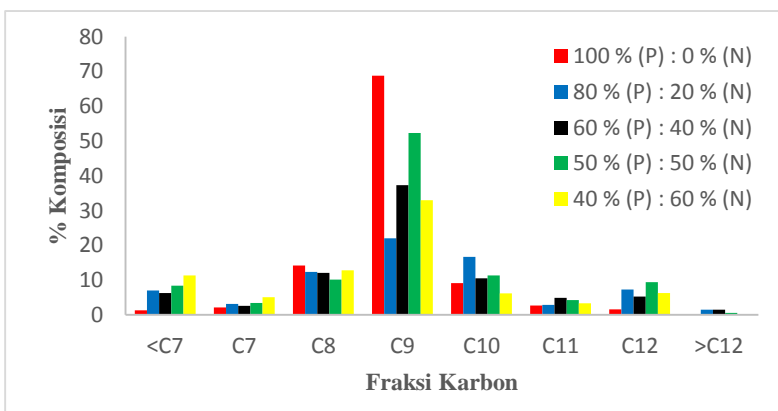
Variasi <i>Feedstock</i>	% Fraksi Carbon dalam BBC			
	< C7	C7 – C12	> C12	TT
100 % (P) : 0 % (N)	1.29	98.46	0	0.28
80 % (P) : 20 % (N)	6.97	64.27	1.52	27.25
60 % (P) : 40 % (N)	6.28	72.48	1.47	19.74
50 % (P) : 50 % (N)	8.37	90.8	0.56	0.29
40 % (P) : 60 % (N)	11.28	66.54	0	22.17

Komposisi bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan pada Tabel 4.3, menunjukkan bahwa perengkahan dengan semakin bertambahnya % biodiesel minyak biji nyamplung pada *feedstock* akan menaikkan komposisi hidrokarbon rantai pendek (C1 – C6) pada hasil produksi. Komposisi fraksi hidrokarbon rantai pendek (C1 – C6) terbanyak diperoleh dari perengkahan 40 % (P) : 60% (N). Penambahan biodiesel minyak biji nyamplung mengakibatkan perolehan fraksi bensin (C7 – C12) mengalami penurunan daripada produk perengkahan 100 % (P) : 0 % (N). Komposisi fraksi bensin (C7 –C12) terbanyak diperoleh dari perengkahan 100 % (P) : 0 % (N) mencapai 98.46%. Komposisi hidrokarbon penyusun bahan bakar cair (BBC) pada setiap variasi pada Gambar 4.12.



**Gambar 4. 14** Komposisi Fraksi Bensin pada Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan Setiap Variasi feedstock

Dalam fraksi bensin (C7 – C12), terdapat beberapa jenis fraksi yang menyusun, diantaranya C7, C8, C9, C10, C11, dan C12. Komposisi setiap fraksi untuk setiap variasi berbeda-beda, sehingga masing-masing fraksi pun memiliki kelimpahan yang berbeda. Komposisi fraksi bensin pada bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.13.

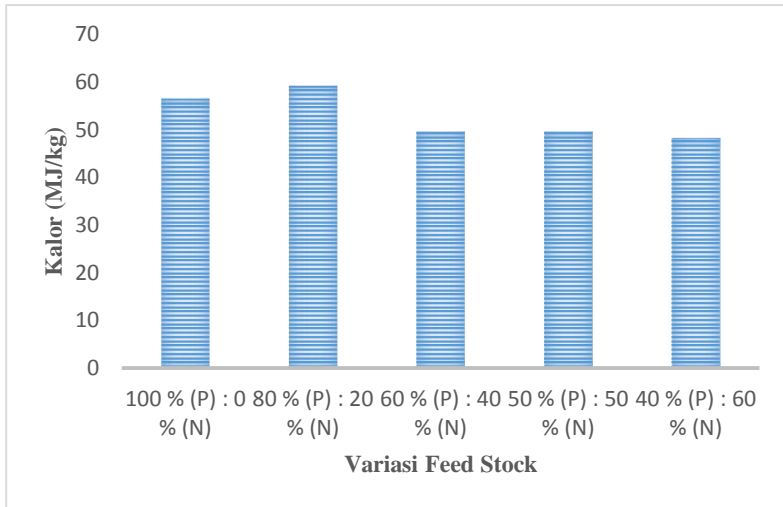


**Gambar 4. 13** Komposisi Hidrokarbon Penyusun Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan setiap Variasi feedstock

Berdasarkan data dan grafik tersebut terlihat bahwa setiap variasi *feedstock* mengandung fraksi yang bermacam-macam dari C7 hingga C12. Komposisi terbesar merupakan fraksi dari rantai karbon C9 untuk setiap variasi yakni dalam rentang 20 – 68% dari total hidrokarbon penyusun BBC. Produk utama yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah bahan bakar hidrokarbon jenis bensin dengan fraksi C9 sebagai komponen penyusun yang mendominasi. Dapat dilihat bahwa pada total komposisi masing - masing variasi, komposisi fraksi bensin terbesar dihasilkan melalui perengkahan 100 % (P) : 0 % (N). Fraksi hidrokarbon C9 mendominasi dikarenakan selektivitas dari katalis Al-MCM-41 sedangkan, penambahan biodiesel minyak biji nyamplung ke dalam *feedstock* menyebabkan komposisi senyawa hidrokarbon fraksi bensin yang dihasilkan cenderung semakin menurun. Hal ini disebabkan karena rantai hidrokarbon biodiesel yang panjang dimana memerlukan energi lebih untuk membentuk rantai C9.

#### **4.3.2. Nilai Kalor Bahan Bakar Cair (BBC)**

Reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen dari udara menghasilkan energi berupa panas. Besarnya energi yang dilepaskan bahan bakar jika terbakar secara sempurna disebut nilai kalor bahan bakar. Data nilai kalor suatu bahan bakar dapat digunakan untuk menghitung jumlah konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan suatu mesin dalam suatu periode pemakaian. Penentuan kalor pembakaran bahan bakar cair dilakukan dengan bom kalorimeter.



**Gambar 4. 15** Nilai Kalor Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan

Hasil pengukuran nilai kalor bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan pada Gambar 4.14, menunjukkan bahwa perengkahan 80 % (P) : 20 % (N) menghasilkan BBC dengan nilai kalor yang tinggi sebesar 59,19 MJ/kg. Sedangkan perengkahan 100 % (P) : 0 % (N) menghasilkan BBC dengan nilai kalor yang lebih rendah yakni 56,49 MJ/kg. Perengkahan 60 % (P) : 40 % (N), 50 % (P) : 50 % (N), dan 40 % (P) : 60 % (N) nilai kalor BBC mengalami penurunan bila dibandingkan dengan nilai kalor BBC perengkahan 80 % (P) : 20 % (N). BBC dengan nilai kalor terendah didapatkan dari perengkahan 40 % (P) : 60 % (N) yakni 48,22 MJ/kg.

Nilai kalor dapat dikaitkan dengan komposisi senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam BBC. Perengkahan limbah plastik polipropilena dengan biodiesel minyak nyamplung menghasilkan BBC dengan nilai kalor yang cenderung lebih rendah dari BBC hasil perengkahan 100 % (P) : 0 % (N) . Hal ini

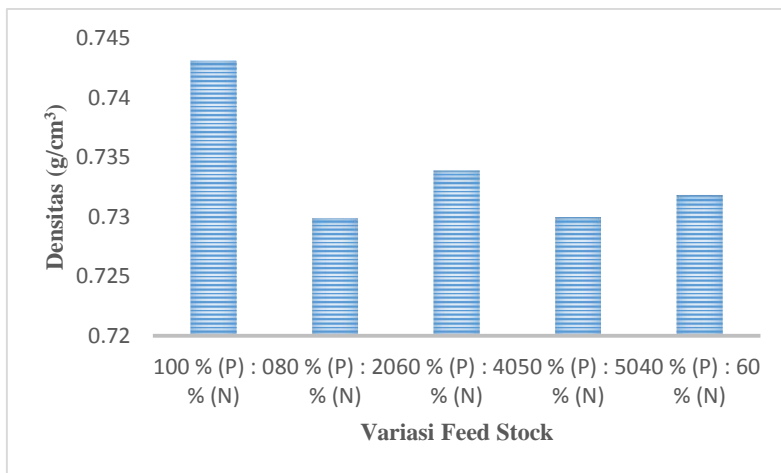
menunjukkan bahwa semakin besar komposisi ko-reaktan dalam *feedstock* mengakibatkan hasil bahan bakar cair mempunyai nilai kalor yang semakin menurun, dikarenakan perengkahan lebih mudah terjadi pada polipropilena dibandingkan dengan biodiesel minyak nyamplung sehingga, produk akhir yang dihasilkan pun mengalami peningkatan komposisi senyawa hidrokarbon rantai pendek. Semakin meningkat komposisi senyawa hidrokarbon rantai C7 – C12, maka semakin besar pula nilai kalornya. Namun, senyawa hidrokarbon rantai C7 – C12 yang dihasilkan semakin menurun akibat bertambahnya komposisi ko-reaktan dalam *feedstock* dikarenakan, semakin sulitnya terjadi perengkahan pada biodiesel minyak nyamplung. Bahan bakar pada umumnya harus mempunyai batas minimal kalor sesuai dengan standar yang berlaku salah satunya yakni standar internasional yang dikeluarkan ASTM *Gasoline* tentang pengujian spesifikasi *Gasoline*. Seluruh BBC produk penelitian ini telah memenuhi spesifikasi ASTM *Gasoline* yang memiliki batasan terhadap nilai kalor minimal sebesar 42,5 MJ/kg.

#### **4.3.3. Densitas Bahan Bakar Cair (BBC)**

Densitas atau massa jenis suatu sampel menunjukkan perbandingan antara massa persatuan volume. Densitas satu zat akan berbeda dengan zat yang lainnya. Pengujian densitas produk bahan bakar cair dalam penelitian ini penting untuk mengetahui pengaruhnya terhadap karakteristik pembakaran ataupun hubungannya dengan keefektifan katalis terhadap perengkahan limbah plastik PP. Penentuan densitas bahan bakar cair dapat dilakukan dengan piknometer. Piknometer kosong yang telah tercatat volume serta tertimbang massanya diisi dengan sampel bahan bakar cair hingga penuh kemudian ditimbang kembali massanya. Densitas sampel bahan bakar cair diperoleh dari perbandingan massa sampel (diperoleh dari selisih massa



piknometer terisi dan piknometer kosong) terhadap volume piknometer. Penentuan densitas bahan bakar cair dilakukan pada Temperatur 15°C.



**Gambar 4. 16** Densitas Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan

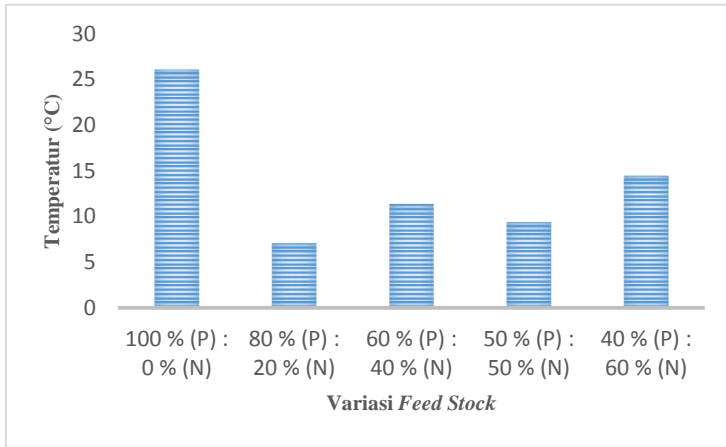
Hasil penentuan densitas bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan pada Gambar 4.15, menunjukkan bahwa perengkahan 100 % (P) : 0 % (N) menghasilkan BBC dengan densitas tertinggi yakni 0,743 kg/m<sup>3</sup>. Sedangkan pada perengkahan 80 % (P) : 20 % (N), terjadi penurunan densitas sebanyak 1,775% dibandingkan dengan 100 % (P) : 0 % (N) sehingga densitas BBC 80 % (P) : 20 % (N) hanya sebesar 0,729 kg/m<sup>3</sup>. Pada perengkahan 60 % (P) : 40 % (N) terjadi peningkatan densitas BBC namun, tidak melebihi densitas dari BBC produk perengkahan 100 % (P) : 0 % (N). Pada perengkahan 50 % (P) : 50 % (N) dan 40 % (P) : 60 % (N) menunjukkan pola yang sama dengan perengkahan 80 % (P) : 20 % (N) dan 60 % (P) : 40 % (N).

Perengkahan 100 % (P) : 0 % (N) menghasilkan BBC dengan densitas yang tinggi. Perengkahan limbah plastik PP dengan ko-reaktan minyak nyamplung menghasilkan BBC dengan

densitas yang lebih rendah daripada BBC hasil perengkahan 100 % (P) : 0 % (N). Hal ini menunjukkan hidrokarbon rantai C9 berkontribusi secara dominan dalam penentuan densitas bahan bakar cair dikarenakan, hidrokarbon C9 merupakan fraksi utama dari produk BBC yang dihasilkan. Semakin meningkatnya senyawa hidrokarbon C9 maka akan semakin tinggi pula densitasnya. BBC dengan densitas rendah menunjukkan hasil perengkahan yang lebih baik. Seluruh bahan bakar cair produk penelitian ini telah memenuhi spesifikasi ASTM *Gasoline* yang menyatakan bahwa densitas bahan bakar minyak yang diizinkan sebesar 0,72 g/cm<sup>3</sup> dan maksimal sebesar 0,78 g/cm<sup>3</sup> pada pengukuran Temperatur 15 °C.

#### **4.3.4. Titik Nyala Bahan Bakar Cair (BBC)**

Titik nyala merupakan Temperatur terendah suatu bahan bakar yang bila dipanaskan akan menguap sehingga uap yang telah bercampur dengan udara pada tekanan normal akan menyala dengan adanya percikan api. Penentuan titik nyala bahan bakar penting untuk dilakukan karena berhubungan dengan keamanan dan keselamatan dalam penyimpanan dan penanganannya. Sampel produk berupa bahan bakar cair dituangkan ke dalam cawan penguap. Termometer dipasang di atas cawan penguap hingga menyentuh bahan bakar cair. Sumber api diperoleh dari pemantik api yang dinyalakan pada permukaan sampel. Temperatur yang tercatat merupakan Temperatur yang terbaca pada termometer saat terjadi nyala pertama setelah diberikan sumber api.



**Gambar 4. 17** Titik Nyala Bahan Bakar Cair hasil Perengkahan Katalitik

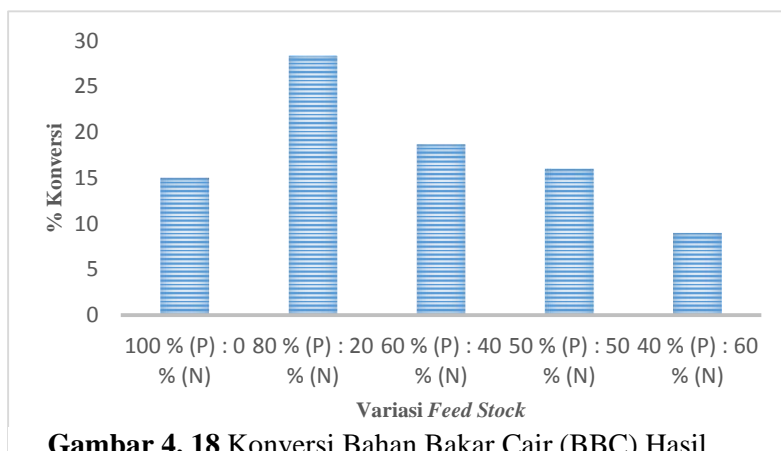
Hasil penentuan titik nyala bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan pada Gambar 4.16, menunjukkan bahwa perengkahan 100 % (P) : 0 % (N) menghasilkan BBC dengan titik nyala yang tinggi yakni 26,1 °C. Pada perengkahan 80 % (P) : 20 % (N) terjadi penurunan nilai titik nyala dari BBC sebesar 19 °C sehingga, titik nyala BBC 80 % (P) : 20 % (N) sebesar 7,1 °C. Perengkahan limbah plastik PP dengan ko-reaktan minyak nyamplung menghasilkan BBC dengan nilai titik nyala lebih rendah daripada perengkahan limbah plastik PP murni akan tetapi, semakin banyak minyak nyamplung yang ditambahkan nilai titik nyala cenderung meningkat.

Hal ini dapat terjadi berkaitan dengan komposisi utama BBC yang merupakan senyawa hidrokarbon C9. Semakin meningkatnya senyawa hidrokarbon C9 maka akan semakin tinggi pula titik nyala BBCnya. Semakin rendah titik nyala bahan bakar, maka semakin mudah terbakar. Nilai titik nyala yang terlalu rendah dapat menyebabkan timbulnya detonasi berupa ledakan-ledakan kecil yang terjadi sebelum bahan bakar masuk ke dalam ruang

pembakaran. Sebaliknya, semakin tinggi titik nyala bahan bakar, maka semakin susah untuk terbakar. Bahan bakar dengan titik nyala tinggi semakin aman dalam penggunaan dan penyimpanan karena tidak akan mudah terbakar pada temperatur kamar. Namun, apabila titik nyala terlalu tinggi maka akan menyebabkan keterlambatan penyalan apabila diterapkan dalam mesin.

#### 4.4. Hasil Perengkahan Katalitik

Gambar 4.18 menyajikan hasil produk dari perengkahan dengan rasio *feedstock* Minyak Plastik (%) : Biodiesel Minyak Nyamplung (%) yang berbeda. Hasil perengkahan menunjukkan bahwa semakin besar komposisi biodiesel dalam *feedstock* mengakibatkan % yield bahan bakar cair semakin menurun. Ketika komposisi PP dalam *feedstock* meningkat, lebih banyak partikel hidrogen disintesis dan dengan demikian memperlemah reaksi polimerisasi oksigenat. Selain itu, radikal bebas yang tidak stabil dari perengkahan biodiesel minyak nyamplung menyerap hidrogen dan menghambat reaksi polimerisasi dan reaksi silang, yang menghasilkan peningkatan % yield hasil perengkahan.



**Gambar 4. 18** Konversi Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan Katalitik

**Tabel 4. 3** Hasil karakterisasi BBC dengan ASTM *Gasoline*.

Sifat	Standar ASTM <i>Gasoline</i>	Hasil Produksi BBC (variasi <i>feedstock</i> )				
		1	2	3	4	5
Densitas Pada 15 °C (g/cm <sup>3</sup> )	0.72 – 0.78	0.743	0.729	0.733	0.729	0.731
Nilai Kalor (MJ/Kg)	42.5	56.49	59.12	49.58	49.54	48.22
Titik Nyala (°C)*	42	26.1	7.1	11.4	9.4	14.5

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa % yield terbesar diperoleh dari variasi *feedstock* 80 % (P) : 20 % (N) sejumlah 85 mL dengan jumlah % fraksi < C7 sebesar 6,97 %, C7 – C12 sebesar 64,27 %, > C12 sebesar 1,52% serta data karakterisasi fisik berupa densitas sebesar 0,729 g/cm<sup>3</sup>, titik nyala 7,1 °C dan nilai kalor sebesar 59,19 kal/gram. ASTM *Gasoline* menyebutkan bahwa bahan bakar cair yang memenuhi standar dengan besar densitas antara 0,72 – 0,78 g/cm<sup>3</sup> dan nilai kalor sebesar 42,5 MJ/kg. Berdasarkan penelitian ini seluruh variasi *feedstock* menghasilkan bahan bakar cair yang sesuai dengan ASTM *Gasoline*.

#### **5.2. Saran**

Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan perbaikan metode agar penelitian dapat memperoleh hasil perengkahan katalitik berupa bahan bakar cair (BBC) dengan kualitas yang lebih baik.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



## DAFTAR PUSTAKA

- Adamson. 1994. Physical Chemistry of Surface. John Wiley & Sons, New York.
- Ahmad, I., Khan, M. I., Khan, H., Ishaq, M., Khan, R., Gul, K., & Ahmad, W. (2017). Influence of waste brick kiln dust on pyrolytic conversion of polypropylene into potential automotive fuels. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 126(June), 247–256. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2017.06.002>
- Anita, Y., Sarah, D., Soebowo, E. 2012. Pengaruh Lempung Ekspansif Terhadap Potensi Amblesan Tanah di Daerah Semarang. Riset Geologi dan Pertambangan Vol. 22 No. 2 (2012), 93-104.
- Arasyid, G. 2010. Pembuatan Etanol dari Sampah Pasar Melalui Proses Pemanasan dan Fermentasi Bakteri *Zymomonas Mobilis*. Tugas Akhir. Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh November, 2-3.
- Arifianto, B. 2006. Proses Perengkahan Minyak Sawit Menjadi Hidrokarbon Setaraf Fraksi Gasolin Menggunakan Katalis  $B_2O_3$ /Alumina. Skripsi. Depok: Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Atabani, A. E., & César, S. 2014. *Calophyllum inophyllum* L. – A prospective non-edible biodiesel feedstock . Study of biodiesel production , properties , fatty acid composition , blending and engine performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 644–655. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.037>
- Ates, F., Tophanecioglu, S., Putun, A.E., 2014. The evaluation of mesoporous materials as catalyst in fast pyrolysis of wheat straw. *International Journal of Green Energy* 12 (1), 57 - 64.
- Atsonios K, Kougiumtzis M-AD, Panopoulos K, Kakaras E. 2015. Alternative thermochemical routes for aviation biofuels via

- alcohols synthesis: process modeling, techno-economic assessment and comparison. *Appl Energy*.138:346–66.
- Balitbang Kehutanan. 2008. Nyamplung *Calophyllum inophyllum* L. Sumber energi Biofuel yang potensial Pusat Litbang Hutan Tanaman. Badan Litbang Kehutanan. Departemen Kehutanan. Bogor hlm. 33-38.
- Bhattacharyya, K., Talubdar, A., Das, P., & Sivasanker, S. 2001. Acetylation of Phenol with Al-MCM-41. *Catalysis Communication* 2, 105-111.
- Borges M. E., L. Dias. 2012. Recent Developments on Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production by Oil, Esterification and Transesterification Reaction: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 2839 – 2849.
- Calhoun, A. 2016. Polypropylene, 35–45. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-37100-1.00003-X>
- Carey, F.A..2000. Organic Chemistry. 4th Edition. McGraw-Hill Companies, Boston.
- Chew, T., & Bhatia, S. 2008. Catalytic Processes Towards the Production of Biofuels in a Palm Oil and Oil Palm Biomass-Based Biorefinery. *Bioresour Technol*, 7911-7922.
- Chouhan Shngh A. P., and Sarma A. K. 2011. Modern Heterogenous Catalyst for Biodiesel Production: A Comprehensive Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 4378 – 4399.
- Clark J, Cracking Alkanes. 2008. <http://www.chemguide.co.uk>
- Departemen Kehutanan Republik Indonesia (Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan). 2008. Nyamplung *Calophyllum inophyllum* L sumber energi biofuel yang potensial. Jakarta. Indonesia: Pusat informasi kehutanan.

- D.S. Lee, D.W. Fahey, P.M. Forster, P.J. Newton, R.C.N. Wit, L.L. Lim, B. Owen, R. Sausen, Atmos. 2009. Environ. 43; 3520–3537.
- Endud, S., Hadi, & Hamdan, H. 1998. Probing The Active Sites of Aluminated Mesoporous Molecular Sieve MCM-41 by Secondary Synthesis in the Conversion of Cycloheksanol. Mesoporous Molecular Sieve vol.117, 453–459.
- Epp, J., 2016. *X-ray diffraction (XRD) techniques for materials characterization*, in: *Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*. Elsevier, pp. 81–124. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100040-3.00004-3>
- Heydariaraghi, M., Ghorbanian, S., Hallajisani, A., Salehpour, A. 2016. Fuel properties of the oils produced from the pyrolysis of commonly-used polymers: effect of fractionating column. J Anal Appl Pyrol;121:307–17.
- Hussain, S. Z., & Maqbool, K. (2014). GC-MS: Principle , Technique and its application in Food Science.
- Inagaki, M., & Kang, F. 2016. *Materials Science and Engineering of Carbon : Characterization*. Tsinghua University Press.
- Jae, J., Coolman, R., Mountziaris, T. J., & Huber, G. W. 2014. Catalytic fast pyrolysis of lignocellulosic biomass in a process development unit with continual catalyst addition and removal. *Chemical Engineering Science*, 108, 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2013.12.023>
- Juwono, H., Triyono, T., Sutarno, S., Wahyuni, E.T., 2013. The Influence of Pd Impregnation Into Al-MCM-41 on the Characters and Activity For Biogasoline Production By Catalytic Hydrocracking of FAMES From Nyamplung Seed Oil (*Calophyllum Inophyllum*). Indonesian Journal of Chemistry 13, 171 - 175.

- Juwono, H., Triyono, T., Sutarno, S., Wahyuni, E.T., Ulfen, I., Kurniawan, F., 2017. Production of Biodiesel from Seed Oil of Nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) by Al-MCM-41 and Its Performance in Diesel Engine. *Indonesian Journal of Chemistry* 17, 316. <https://doi.org/10.22146/ijc.24180>
- Juwono, H., Triwahyuni, E., Ulfen, I., & Kurniawan, F. 2017. Production of Biodiesel from Seed Oil of Nyamplung ( *Calophyllum inophyllum* ) by Al-MCM-41 and Its Performance in Diesel Engine, 17(2), 316–321. <https://doi.org/10.22146/ijc.24180>
- Kim, J., Kwak, J. H., Jun, S., & Ryoo, R. 1995. Ion Exchange and Thermal Stability of MCM-41. *Journal of Physical Chemistry*, 16742 – 16747.
- Kim, Y., Won, H., Joo, S., Jeon, J., Hoon, S., Jung, S., ... Park, Y. 2017. ScienceDirect Catalytic co-pyrolysis of polypropylene and *Laminaria japonica* over zeolitic materials. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(29), 18434 – 18441. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.04.139>
- Kittle PA. 1993. Alternative daily cover materials and subtitled – The selection technique. Rusman Inc.
- Kresge, C.T., Leonowicz, M.E., Roth, W.J., Vartulli, J.C., Beck, J.S. 1992. Ordered mesoporous molecular sieves synthesized by a liquid-crystal template mechanism. *Nature* 359 (6397), 710 - 712.
- Kumar, R., Rana, B. S., Tiwari, R., Verma, D., Kumar, R., Joshi, R. K., Sinha, A. K. 2010. Hydroprocessing of *jatropha* oil and its mixtures with gas oil, 2232–2239. <https://doi.org/10.1039/c0gc00204f>.

- Lee EH, Park RS, Kim H, Park SH, Jung SC, Jeon JK, Kim SC, Park YK. 2016. Hydrodeoxygenation of guaiacol over Pt loaded zeolitic materials. *J Ind Eng Chem*;37:18–21.
- Maddah, H. A. 2016. Polypropylene as a Promising Plastic : A Review, 6(1), 1–11.
- Maneerung, T., Kawi, S., Dai, Y., Wang, C.-H., 2016. Sustainable biodiesel production via transesterification of waste cooking oil by using CaO catalysts prepared from chicken manure. *Energy Conversion and Management* 123, 487–497. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.06.071>
- McNair, H.M. 2009. *Basic Gas Chromatography*. Second Edition. New Jersey : A John Wiley & Sons. Inc. Publication.
- Meléndez-Ortiz, H.I., Mercado-Silva, A., García-Cerda, L.A., Castruita, G., Perera-Mercado, Y.A., 2013. Hydrothermal synthesis of mesoporous silica MCM-41 using commercial sodium silicate. *Journal of the Mexican Chemical Society* 57, 73–79.
- Melyna, E. 2013. “Perengkahan Sampah Plastik (HDPE, PP, PS) Menjadi Prekursor Bahan Bakar dengan Variasi Perbandingan Bahan Baku/Katalis H-Zeolit”. Skripsi Universitas Riau. Pekanbaru.
- Muderawan, I. W., Ketut, N., & Daiwataningsih, P. 2016. ( *Calophyllum Inophyllum L.*  ) dan Analisis Metil Esternya Dengan GC-MS.
- Neeraj, M., Sunil, P., Bhushan, P., Mukeshchand, T., Ashmi, M., Madhuri, S., Maheshwar, S. 2014. “Facile Route to Generate Fuel Oil via Catalytic pyrolysis of Waste Polypropylene Bags: Towards Waste Management of >20µm Plastic Bags”. *Journal of Fuels*.
- Nugroho, A. 2006. *Bioremediasi Hidrokarbon Minyak Bumi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

- Nurdianto, P., Nugraheni, I.K., Ivana, R.T., 2016. Pengujian Bahan Bakar Biofull Hasil Pirolisis Botol Plastik Pada Sepeda Motor. *Jurnal Elemen* 3, 01–06.
- Nurinawati, S. 2007. “Pembuatan Biodiesel Langsung dari Sumber Bahan Minyak Lemak”. Skripsi Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Parparita, E., Nistor, M.T., Popescu, M.-C., Vasile, C., 2014. TG/FT–IR/MS study on thermal decomposition of polypropylene/biomass composites. *Polym. Degrad. Stab.* 109, 13–20.
- Poole, C. 2012. *Gas Chromatography*. Elsevier, Inc. USA. p. 5-9.
- Prasetyoko Didik, F. H. 2016. *Karakterisasi Struktur Padatan*. Sleman: DEEPUBLISH.
- Prastowo, B. 2008. Inovasi Teknologi Pertanian Mendukung Pengembangan Bahan Bakar Nabati. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Pertanian Yogyakarta*, 2-3.
- Pratiwi, M A., Hasan, M F., Harjanto, L K., Mahfud. 2016. Pembuatan Biokerosin Dari Metil Ester Berbahan Baku Minyak Kelapa Dengan Metode Distilasi Vakum , 29–36.
- Prihandana, R dan Roy, H. 2006. *Menghasilkan Biodiesel Murah: Mengatasi Polusi dan Kelangkaan BBM*. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Saifurrizal, M. Ferdi. 2013. “Pengaruh Komposisi Campuran Briket Bottom Ash Batubara dan Tongkol Jagung dengan Variasi Jumlah Perekat terhadap Nilai Kalor”. Skripsi Universitas Jember. Jember.
- Sharuddin SDA, Abnisa F, Daud WMAW, Aroua MK. 2016. A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy Convers Manage*;115:308–26.
- Sibarani, K. L. 2012. Preparasi, Karakterisasi, dan Uji Aktivitas Katalis Ni-Cr/Zeolit Alam pada Proses Perengkahan

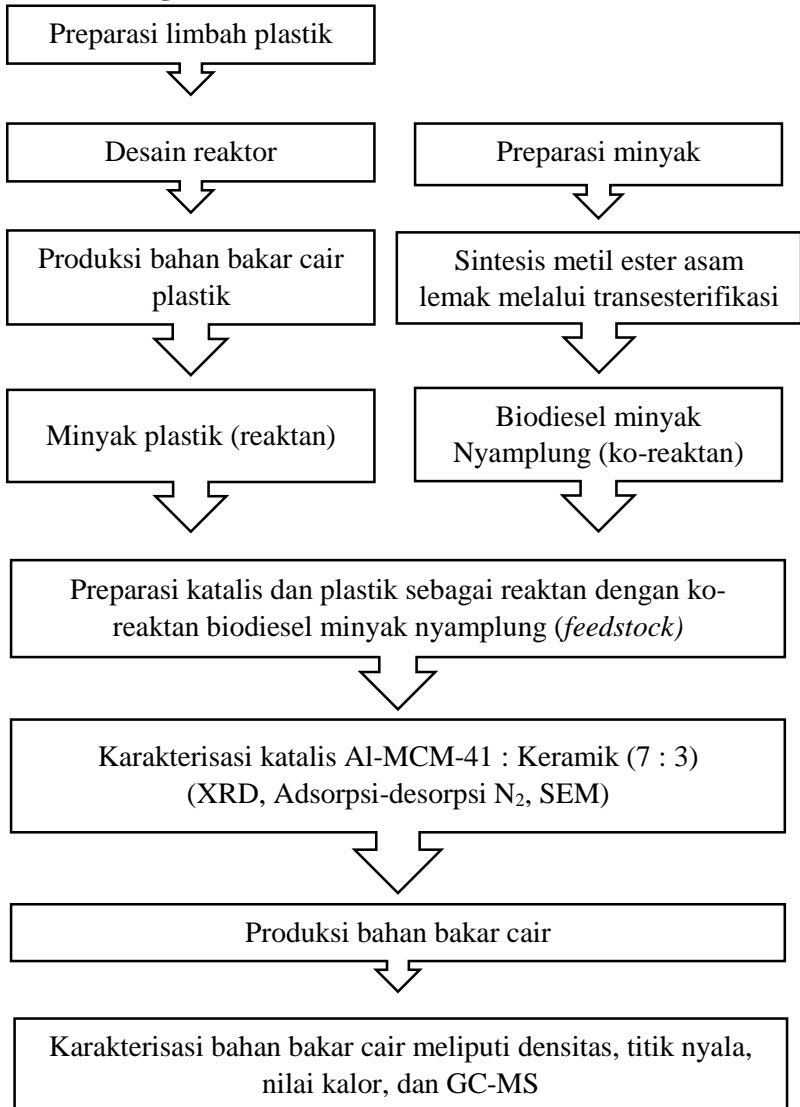
- Limbah Plastik Menjadi Fraksi Bensin. Dalam *SKRIPSI* (hal. 15-17). Depok: Universitas Indonesia.
- Soerawidjaja, Tatang H. 2006. Fondasi - Fondasi Ilmiah dan Keteknikan dari Teknologi Pembuatan Biodiesel, Handout Seminar Nasional “Biodiesel sebagai Energi Alternatif Masa Depan”, UGM, Yogyakarta.
- Suharyana. 2012. Dasar-Dasar dan Pemanfaatan Metode Difraksi Sinar-X. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Syamsiro, M., Cheng, S., Hu, W., Saptoadi, H., Pratama, N. N., Trisunaryanti, W., dkk 2014. Liquid and Gaseous Fuels from Waste Plastics by Sequential Pyrolysis and Catalytic Reforming Processes over Indonesian Natural Zeolite Catalysts. *Waste Tech Vol.2(2)* , 44-51.
- Taguchi, A., Schuth, F., 2005. Ordered mesoporous materials in catalysis. *Microporous and Mesoporous Materials* 77 (1), 1 - 45.
- To AT, Resasco DE., 2015. Hydride transfer between a phenolic surface pool and reactant paraffins in the catalytic cracking of m-cresol/hexanes mixtures over an HY zeolite. *J Catal*;329:57–68.
- Vinu, A and Nandhini, Usha K. 2004. “Mesoporous Fe/Al-MCM-41: An Improved Catalyst for the Vapor Phase Tert-butylation of pPhenol. *Applied Catalystr.* 265, 1-10.
- Wang, D., Xiao, R., Zhang, H. 2010. Comparison of catalytic pyrolysis of biomass with MCM-41 and CaO catalyst by using TGA - FTIR analysis, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 89 : 171 - 177.
- Wang, J. L., L. L. Wang. 2011. “Catalytic Pyrolysis of Municipal Plastic Waste to Fuel with Nickel Loaded Silica-Alumina Catalysts”. *Energy Sources.* 33, 1940–1948.

- Wibowo, W. 2004. Hand Out Kuliah Kapita Selekt Kimia Fisik III : Katalis Heterogen dan Reaksi Katalisis. Depok : Departemen Kimia FMIPA UI.
- Wiratmaja, I. G. 2010. Pengujian Karakteristik Fisika Biogasoline sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Bensin Murni. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin , 145-154.
- Zhang, H., Xiao, R., Nie, J., Jin, B., Shao, S., Xiao, G., 2015. Catalytic pyrolysis of blackliquor lignin by co-feeding with different plastics in a fluidized bed reactor. Bioresour. Technol. 192, 68–74.
- Zhang, X., Lei, H., Zhu, L., Qian, M., Zhu, X., & Wu, J. 2016. Enhancement of Jet Fuel Range Alkanes from Co-feeding of Lignocellulostic Biomass with Plastic via Tandem Catalytic Conversions . *Applied Energy* , 418-430.

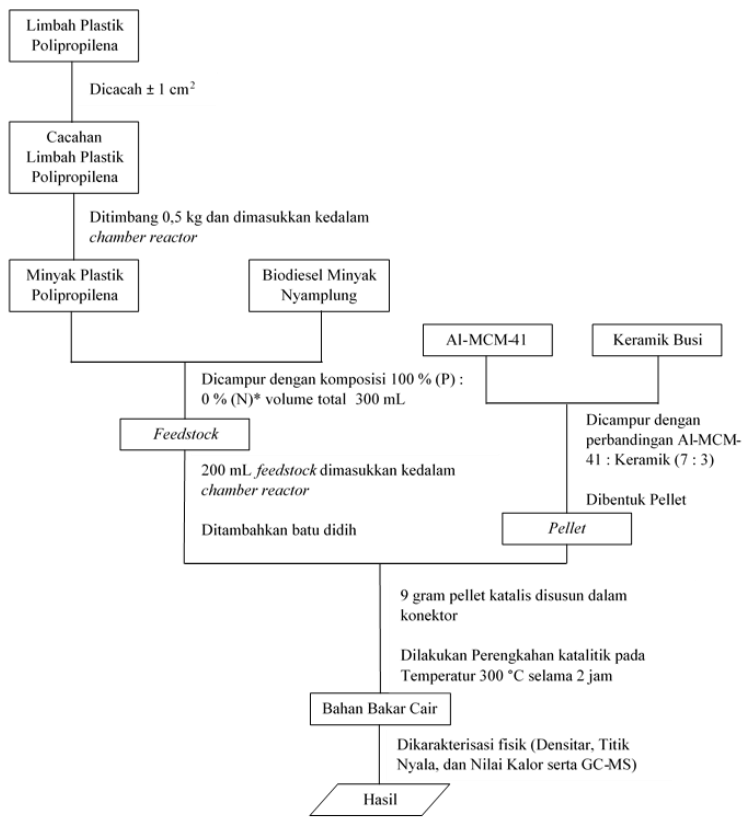


## LAMPIRAN

### A. Langkah Penelitian



B. Diagram Alir

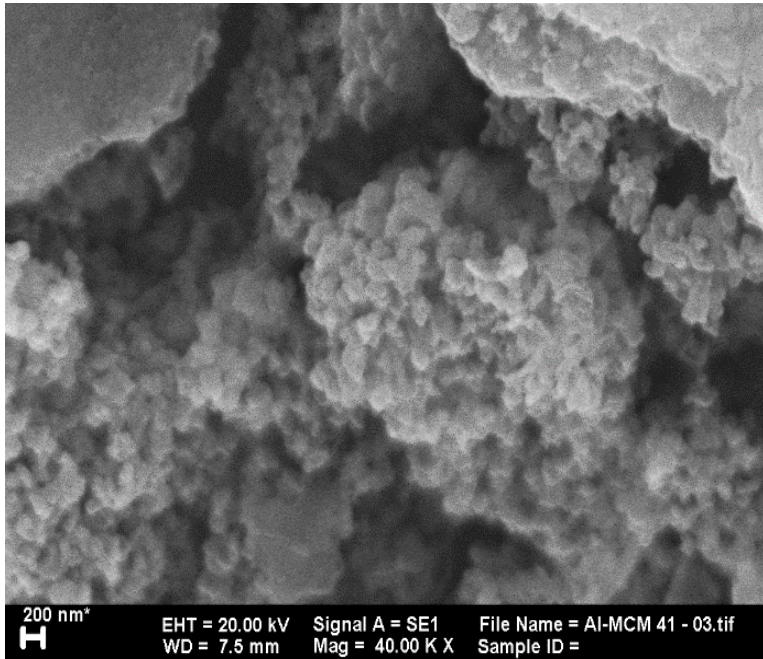


\*Variasi Komposisi *feedstock*

- 80 % (P) : 20 % (N)
- 60 % (P) : 40 % (N)
- 50 % (P) : 50 % (N)
- 40 % (P) : 60 % (N)

## **C. Karakterisasi Katalis Al-MCM-41 : Keramik Busi ( 7 : 3)**

### **C.1. Hasil Karakterisasi SEM**



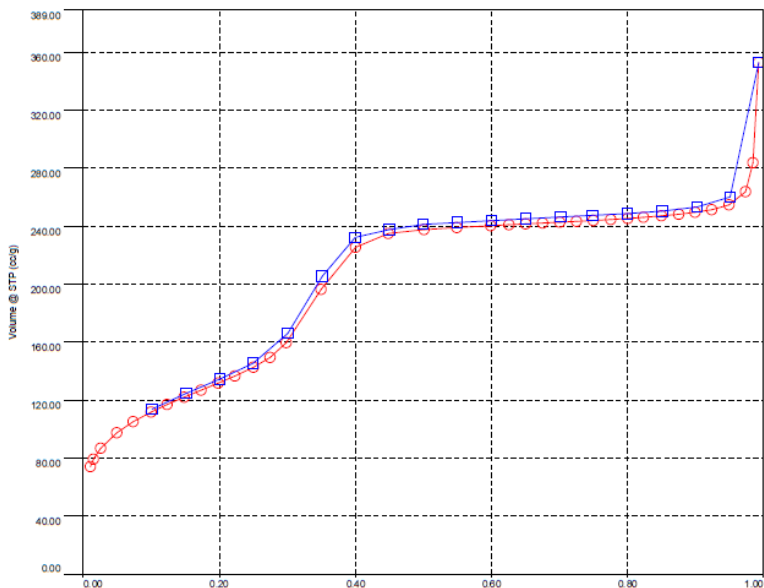
## C.2. Hasil Karakterisasi Adsorpsi – Desorpsi N<sub>2</sub>

Quantachrome® ASiQwin™ - Automated Gas Sorption Data  
Acquisition and Reduction  
© 1994-2012, Quantachrome Instruments  
version 3.0



<b>Analyze</b>		<b>Report</b>	
Operator:	Lab. Energi ITS	Operator:	Lab. Energi ITS
Sample ID:	EI-632 AI MCM 41	File name:	iq_phisy_sl1_2017_11_04_09_38_08EI-632 AI MCM 41.gps
Sample Desc:		Comment:	
Sample Weight:	0.0897 g	Instrument:	Autosorb IQ Station 1
Approx. Outgas Time:	6.2 hrs	Final Outgas Temp.:	60 °C
Analysis gas:	Nitrogen	Non-Ideality:	6.58e-05 1/Torr
Analysis Time:	8.25 hr:min	Bath temp.:	77.35 K
Analysis Mode:	Standard		
Void/v ol. Mode:	He Measure	Cold Zone V:	9.10149 cc
		<b>Isotherm : Linear</b>	
		Extended info:	Available
		CellType:	9mm w/o rod
		Void/v ol Remeasure:	off
		Warm Zone V:	17.5075 cc

Data Reduction Parameters			
Adsorbate	The mal Transpiration: on	Eff. mol. diameter (D):	3.54 Å
	Nitrogen	Temperature	77.350K
	Molec. Wt.: 28.013	Cross Section:	16.200 Å <sup>2</sup>
		Eff. cell stem diam. (d):	4.0000 mm
		Liquid Density:	0.808 g/cc





<b>Analysis</b>		<b>Report</b>	
Operator:	Lab. Energi ITS	Operator:	Lab. Energi ITS
Sample ID:	EI-632 AI MCM 41	Filename:	iq_phisy_st1_2017_11_04_00_38_08EI-632 AI MCM 41.qps
Sample Desc:		Comment:	
Sample Weight:	0.0897 g	Instrument:	Autosorb iQ Station 1
Approx. Outgas Time:	8.2 hrs	Final Outgas Temp.:	60 °C
Analysis gas:	Nitrogen	Non-ideality:	6.58e-05 1/Torr
Analysis Time:	6:25 hr:min	Bath temp.:	77.35 K
Analysis Mode:	Standard		
VoidVol. Mode:	He Measure	Cold Zone V:	9.10149 cc
		<b>Multi-Point BET</b>	
		Extended info:	Available
		CellType:	0mm w/o rod
		VoidVol Remeasure:	off
		Warm Zone V:	17.5075 cc

#### Data Reduction Parameters Data

Adsorbate	Thermal Transpiration: on	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm
	Nitrogen	Temperature 77.350K	
	Molec. Wt.: 28.013	Cross Section: 16.209 Å²	Liquid Density: 0.808 g/cc

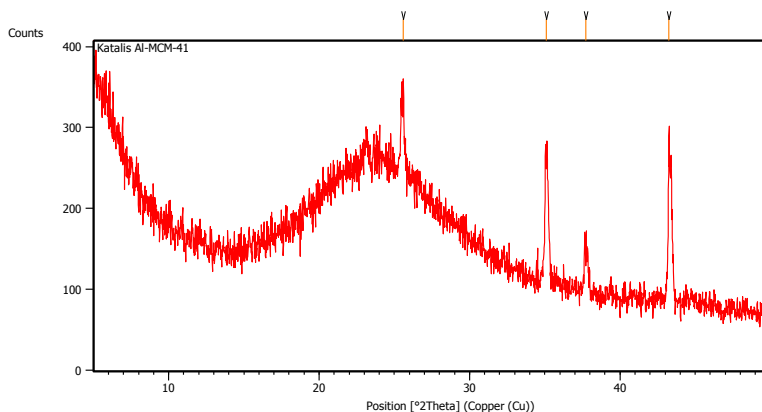
#### Multi-Point BET Data

Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [ W([Po(P) - 1) ]	Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [ W([Po(P) - 1) ]
4.93907e-02	97.5120	4.2633e-01	1.98366e-01	131.7496	1.5028e+00
7.34094e-02	105.1283	6.0377e-01	2.23060e-01	138.6551	1.6810e+00
9.99403e-02	111.8222	7.9451e-01	2.50225e-01	142.7277	1.8709e+00
1.23339e-01	116.9850	9.6227e-01	2.74624e-01	149.4425	2.0270e+00
1.48231e-01	122.0402	1.1410e+00	2.98460e-01	159.6475	2.1322e+00
1.73345e-01	126.9117	1.3220e+00			

#### BET summary

Slope = 7.000  
Intercept = 9.790e-02  
Correlation coefficient, r = 0.996291  
C constant = 72.502  
Surface Area = 490.665 m²/g

## C.3. Hasil Karakterisasi XRD

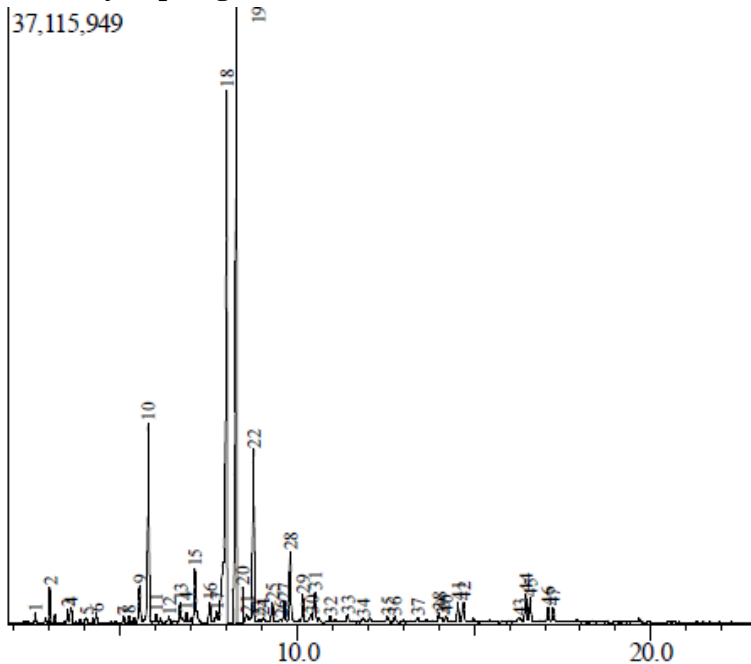


Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.5797	100.27	0.2007	3.48248	48.71
35.0866	152.26	0.2342	2.55763	73.97
37.7459	63.37	0.2007	2.38333	30.78
43.2584	205.84	0.0612	2.08980	100.00

## D. Karakterisasi Bahan Bakar Cair

### D.1. Hasil Karakterisasi GC-MS Fraksi Rantai Hidrokarbon dalam BBC

Plastik : Nyamplung (100% : 0%)



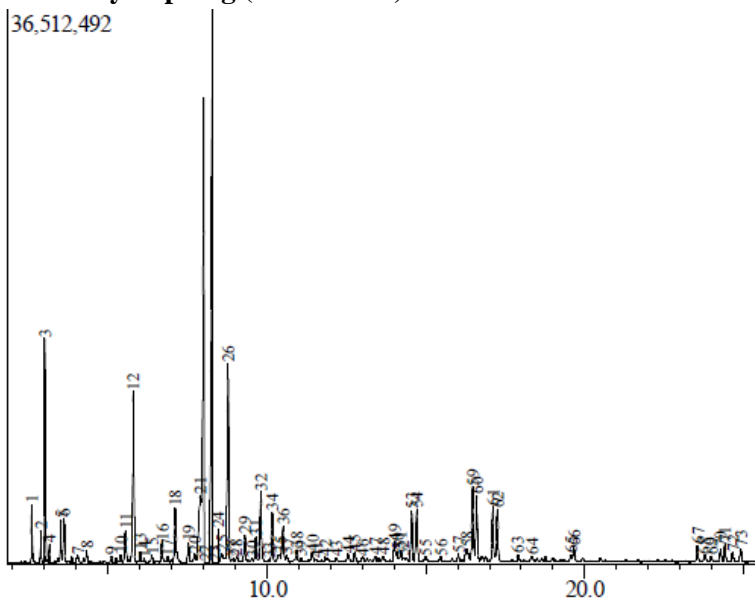
Peak	Waktu Retensi	Waktu Awal	Waktu Akhir	Area %	Fraksi
1	2.586	2.450	2.717	0.33	C4
2	3.002	2.942	3.092	0.96	C6
3	3.503	3.467	3.542	0.39	C7
4	3.596	3.542	3.683	0.64	C7
5	4.040	3.950	4.133	0.29	C7
6	4.306	4.258	4.408	0.45	C7

7	5.096	4.942	5.167	0.29	C8
8	5.224	5.167	5.275	0.28	C8
9	5.537	5.433	5.625	2.29	C8
10	5.781	5.708	5.858	8.64	C8
11	6.001	5.917	6.075	0.52	C8
12	6.358	6.233	6.433	0.41	C8
13	6.685	6.608	6.800	1.20	C8
14	6.849	6.800	6.917	0.59	C8
15	7.101	7.025	7.358	3.49	C9
16	7.524	7.358	7.600	1.31	C9
17	7.728	7.600	7.792	1.00	C9
18	8.008	7.792	8.175	24.88	C9
19	8.283	8.175	8.450	21.47	C9
20	8.458	8.450	8.467	0.28	C5
21	8.565	8.467	8.633	0.75	C9
22	8.767	8.633	8.858	8.98	C9
23	8.907	8.858	8.967	0.26	C9
24	9.033	8.967	9.183	0.54	C9
25	9.301	9.183	9.367	1.28	C9
26	9.512	9.450	9.567	0.27	C9
27	9.636	9.567	9.700	1.15	C9
28	9.801	9.700	9.975	3.70	C10
29	10.154	10.092	10.225	1.36	C10
30	10.393	10.225	10.433	0.64	C9
31	10.493	10.433	10.567	1.58	C10
32	10.935	10.717	11.000	0.36	C10
33	11.426	11.342	11.492	0.32	C10



34	11.865	11.767	11.983	0.35	C7
35	12.559	12.475	12.658	0.33	C10
36	12.754	12.658	12.892	0.34	C10
37	13.407	13.300	13.458	0.27	C10
38	14.011	13.925	14.058	0.54	C10
39	14.102	14.058	14.150	0.28	C11
40	14.200	14.150	14.250	0.32	C11
41	14.549	14.475	14.625	1.06	C11
42	14.700	14.625	14.792	1.03	C11
43	16.274	16.192	16.375	0.34	C10
44	16.459	16.375	16.525	1.50	C9
45	16.588	16.525	16.692	1.23	C9
46	17.096	16.958	17.158	0.78	C12
47	17.245	17.158	17.392	0.76	C12

### Plastik : Nyamplung (80% : 20%)

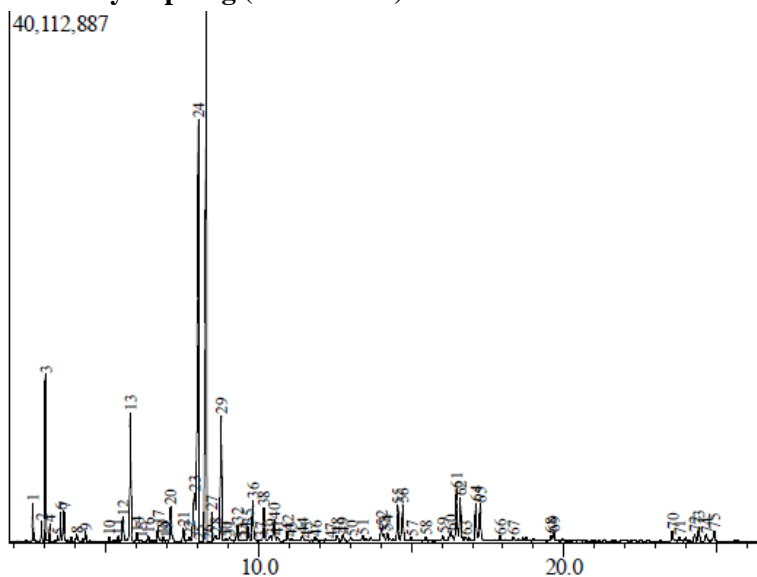


16	6.686	6.608	6.800	0.90	C8
17	6.852	6.800	6.925	0.28	C8
18	7.102	7.025	7.358	2.60	C9
19	7.524	7.358	7.592	0.93	C9
20	7.729	7.592	7.783	0.60	C9
21	7.894	7.783	7.925	4.00	C9
22	8.058	7.925	8.175	12.58	C27
23	8.317	8.175	8.433	14.38	C22
24	8.450	8.433	8.508	0.29	C5
25	8.569	8.508	8.642	0.57	C8
26	8.775	8.642	8.867	7.66	C9
27	8.917	8.867	8.975	0.21	C9
28	9.035	8.975	9.175	0.40	C9
29	9.305	9.175	9.375	1.28	C9
30	9.513	9.450	9.567	0.23	C9
31	9.638	9.567	9.708	1.08	C9

32	9.803	9.708	9.983	2.93	C10
33	10.051	9.983	10.092	0.18	C10
34	10.160	10.092	10.242	1.89	C10
35	10.394	10.242	10.433	0.63	C11
36	10.497	10.433	10.558	1.44	C10
37	10.603	10.558	10.700	0.35	C6
38	10.939	10.700	11.000	0.73	C10
39	11.056	11.000	11.192	0.33	C10
40	11.429	11.275	11.492	0.65	C10
41	11.544	11.492	11.658	0.22	C10
42	11.833	11.767	11.883	0.24	C9
43	12.174	12.108	12.242	0.21	C12
44	12.562	12.475	12.625	0.40	C10
45	12.758	12.625	12.892	0.51	C10
46	13.017	12.892	13.092	0.28	C13
47	13.409	13.300	13.467	0.32	C12
48	13.655	13.575	13.767	0.32	C10
49	14.016	13.917	14.067	0.89	C10
50	14.101	14.067	14.158	0.43	C10
51	14.203	14.158	14.258	0.46	C10
52	14.290	14.258	14.358	0.18	C10
53	14.558	14.475	14.633	2.01	C8
54	14.710	14.633	14.792	1.97	C11
55	14.993	14.858	15.150	0.31	C9
56	15.476	15.367	15.550	0.24	C11
57	16.025	15.925	16.083	0.26	C10
58	16.273	16.200	16.383	0.75	C10
59	16.473	16.383	16.542	3.11	C10
60	16.601	16.542	16.708	2.42	C9
61	17.107	16.975	17.167	2.04	C12
62	17.254	17.167	17.392	2.04	C12
63	17.898	17.775	18.025	0.28	C14
64	18.337	18.258	18.433	0.22	C13
65	19.568	19.450	19.608	0.29	C11
66	19.669	19.608	19.808	0.63	C10
67	23.565	23.483	23.700	0.72	C17

68	23.784	23.700	23.933	0.39	C17
69	23.994	23.933	24.075	0.27	C12
70	24.284	24.208	24.350	0.52	C26
71	24.422	24.350	24.517	0.71	C12
72	24.672	24.517	24.792	0.43	C12
73	24.924	24.792	25.067	0.63	C12

# **Plastik : Nyamplung (60% : 40%)**

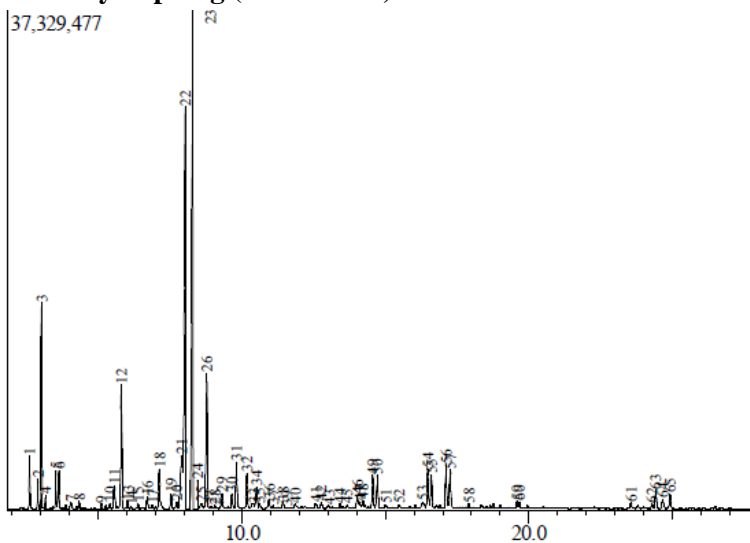


Peak	Waktu Retensi	Waktu Awal	Waktu Akhir	Area %	Fraksi
1	2.591	2.533	2.708	0.92	C5
2	2.876	2.792	2.958	0.53	C6
3	3.005	2.958	3.100	4.18	C6
4	3.140	3.100	3.183	0.44	C6
5	3.408	3.367	3.475	0.21	C6
6	3.507	3.475	3.542	0.79	C7
7	3.603	3.542	3.692	1.03	C7
8	4.042	3.942	4.142	0.34	C7
9	4.311	4.267	4.425	0.44	C7
10	5.102	4.975	5.175	0.23	C8
11	5.386	5.342	5.442	0.26	C8
12	5.541	5.442	5.617	1.41	C8
13	5.784	5.708	5.875	5.22	C8
14	6.002	5.875	6.083	0.62	C8
15	6.133	6.083	6.250	0.27	C8

16	6.363	6.250	6.433	0.49	C8
17	6.691	6.617	6.808	0.94	C8
18	6.857	6.808	6.933	0.37	C8
19	6.976	6.933	7.033	0.23	C8
20	7.106	7.033	7.358	2.40	C9
21	7.526	7.358	7.592	1.02	C9
22	7.730	7.592	7.783	0.69	C9
23	7.885	7.783	7.925	3.56	C9
24	8.017	7.925	8.033	14.37	C9
25	8.050	8.033	8.183	0.20	C11
26	8.325	8.183	8.450	19.18	C9
27	8.458	8.450	8.508	0.36	C7
28	8.568	8.508	8.658	0.74	C8
29	8.769	8.658	8.858	6.30	C9
30	8.914	8.858	8.983	0.40	C9
31	9.036	8.983	9.183	0.57	C9
32	9.307	9.183	9.375	1.19	C9
33	9.425	9.375	9.458	0.20	C8
34	9.523	9.458	9.567	0.28	C9
35	9.639	9.567	9.700	0.95	C9
36	9.804	9.700	9.975	2.43	C10
37	10.049	9.975	10.092	0.27	C8
38	10.163	10.092	10.233	1.71	C10
39	10.398	10.233	10.442	0.71	C11
40	10.498	10.442	10.567	1.13	C10
41	10.608	10.567	10.717	0.39	C9
42	10.944	10.717	11.008	0.81	C10
43	11.063	11.008	11.183	0.33	C10
44	11.434	11.283	11.500	0.58	C10
45	11.558	11.500	11.667	0.24	C8
46	11.846	11.767	11.892	0.28	C8
47	12.366	12.250	12.475	0.19	C11
48	12.565	12.475	12.650	0.34	C10
49	12.764	12.650	12.892	0.40	C10
50	13.020	12.892	13.100	0.21	C13
51	13.409	13.308	13.467	0.27	C8

52	14.021	13.925	14.067	0.65	C10
53	14.107	14.067	14.158	0.34	C10
54	14.209	14.158	14.258	0.36	C10
55	14.562	14.475	14.633	1.68	C11
56	14.714	14.633	14.800	1.65	C11
57	15.000	14.883	15.092	0.24	C9
58	15.482	15.367	15.558	0.21	C11
59	16.031	15.933	16.100	0.24	C11
60	16.278	16.200	16.392	0.69	C10
61	16.477	16.392	16.542	2.62	C9
62	16.603	16.542	16.717	2.08	C9
63	16.774	16.717	16.833	0.19	C12
64	17.110	16.958	17.175	1.80	C12
65	17.259	17.175	17.392	1.81	C12
66	17.904	17.842	18.042	0.23	C9
67	18.346	18.258	18.450	0.20	C11
68	19.574	19.450	19.617	0.25	C10
69	19.674	19.617	19.842	0.44	C12
70	23.569	23.492	23.700	0.49	C17
71	23.792	23.700	23.908	0.22	C26
72	24.291	24.108	24.358	0.36	C17
73	24.428	24.358	24.550	0.66	C12
74	24.679	24.592	24.783	0.37	C12
75	24.931	24.783	25.075	0.57	C12

# **Plastik : Nyamplung (50% : 50%)**



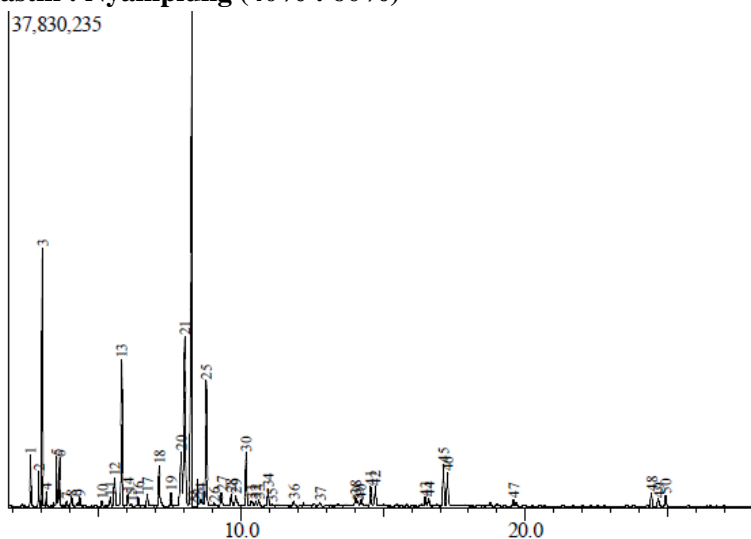
Peak	Waktu Retensi	Waktu Awal	Waktu Akhir	Area %	Fraksi
1	2.592	2.450	2.758	1.43	C5
2	2.877	2.758	2.950	0.90	C6
3	3.007	2.950	3.100	5.32	C6
4	3.142	3.100	3.183	0.38	C6
5	3.509	3.442	3.550	1.18	C7
6	3.606	3.550	3.700	1.39	C7
7	4.046	3.967	4.142	0.40	C7
8	4.316	4.267	4.425	0.42	C7
9	5.104	5.042	5.175	0.26	C8
10	5.389	5.275	5.442	0.35	C8
11	5.545	5.442	5.625	1.50	C8
12	5.788	5.708	5.875	5.45	C8
13	6.008	5.875	6.075	0.52	C8
14	6.135	6.075	6.258	0.22	C8
15	6.367	6.258	6.425	0.35	C8
16	6.696	6.625	6.808	0.76	C8



17	6.863	6.808	6.933	0.28	C8
18	7.110	7.033	7.367	2.55	C9
19	7.531	7.367	7.600	0.89	C9
20	7.734	7.600	7.792	0.60	C9
21	7.894	7.792	7.933	4.12	C9
22	8.017	7.933	8.183	13.85	C9
23	8.283	8.183	8.450	18.20	C9
24	8.458	8.450	8.508	0.29	C7
25	8.576	8.508	8.642	0.50	C9
26	8.775	8.642	8.867	7.10	C9
27	8.922	8.867	8.983	0.23	C9
28	9.040	8.983	9.192	0.37	C9
29	9.310	9.192	9.383	1.01	C9
30	9.645	9.575	9.717	0.91	C9
31	9.809	9.717	9.975	2.61	C10
32	10.167	10.100	10.242	1.76	C10
33	10.405	10.242	10.442	0.60	C11
34	10.504	10.442	10.567	1.20	C10
35	10.610	10.567	10.733	0.34	C6
36	10.949	10.733	11.008	0.71	C10
37	11.068	11.008	11.183	0.29	C10
38	11.439	11.283	11.508	0.57	C10
39	11.543	11.508	11.683	0.21	C12
40	11.849	11.775	12.008	0.46	C8
41	12.572	12.483	12.642	0.35	C10
42	12.766	12.642	12.908	0.46	C10
43	13.029	12.908	13.100	0.26	C10
44	13.418	13.308	13.475	0.32	C10
45	13.667	13.583	13.725	0.23	C10
46	14.025	13.933	14.075	0.76	C10
47	14.111	14.075	14.167	0.38	C10
48	14.213	14.167	14.267	0.43	C10
49	14.566	14.475	14.642	1.71	C11
50	14.717	14.642	14.800	1.64	C11
51	15.003	14.883	15.092	0.31	C10
52	15.482	15.367	15.567	0.25	C11

53	16.284	16.208	16.400	0.53	C12
54	16.478	16.400	16.542	2.17	C12
55	16.605	16.542	16.717	1.73	C9
56	17.116	16.958	17.183	2.20	C12
57	17.264	17.183	17.425	2.00	C12
58	17.904	17.783	18.042	0.22	C9
59	19.582	19.450	19.625	0.37	C10
60	19.673	19.625	19.850	0.36	C10
61	23.572	23.500	23.725	0.33	C17
62	24.295	24.192	24.358	0.23	C17
63	24.433	24.358	24.525	0.96	C12
64	24.683	24.525	24.800	0.55	C12
65	24.934	24.800	25.075	0.79	C12

# **Plastik : Nyamplung (40% : 60%)**



Peak	Waktu Retensi	Waktu Awal	Waktu Akhir	Area %	Fraksi
1	2.593	2.458	2.717	1.62	C5
2	2.881	2.783	2.942	1.19	C6
3	3.009	2.942	3.108	7.51	C6
4	3.145	3.108	3.192	0.48	C6
5	3.513	3.475	3.550	1.75	C7
6	3.610	3.550	3.708	1.91	C7
7	3.863	3.808	3.967	0.24	C7
8	4.050	3.967	4.150	0.58	C7
9	4.322	4.275	4.433	0.55	C7
10	5.111	4.967	5.192	0.37	C8
11	5.397	5.350	5.458	0.49	C8
12	5.551	5.458	5.642	2.00	C8
13	5.797	5.642	5.875	7.30	C8
14	6.012	5.875	6.092	0.86	C8
15	6.143	6.092	6.258	0.24	C8
16	6.374	6.258	6.458	0.62	C8

17	6.703	6.633	6.825	0.89	C8
18	7.117	7.042	7.383	2.87	C9
19	7.537	7.383	7.608	0.96	C9
20	7.888	7.783	7.942	4.15	C9
21	8.021	7.942	8.150	12.28	C9
22	8.317	8.150	8.442	21.71	C20
23	8.482	8.442	8.525	0.43	C11
24	8.585	8.525	8.700	0.83	C8
25	8.784	8.700	8.892	7.19	C9
26	9.051	8.992	9.125	0.31	C9
27	9.317	9.208	9.383	1.04	C9
28	9.654	9.567	9.750	0.87	C9
29	9.816	9.750	9.975	0.99	C9
30	10.178	10.100	10.250	3.09	C10
31	10.366	10.250	10.458	0.66	C10
32	10.512	10.458	10.567	0.35	C10
33	10.620	10.567	10.742	0.48	C6
34	10.957	10.742	11.025	1.24	C10
35	11.075	11.025	11.183	0.23	C10
36	11.851	11.783	12.008	0.46	C9
37	12.773	12.650	12.883	0.28	C10
38	14.031	13.942	14.083	0.56	C11
39	14.116	14.083	14.167	0.24	C11
40	14.216	14.167	14.358	0.41	C11
41	14.567	14.492	14.642	1.09	C11
42	14.719	14.642	14.792	1.05	C11
43	16.475	16.400	16.542	0.55	C9
44	16.602	16.542	16.725	0.44	C9
45	17.120	17.000	17.192	2.34	C12
46	17.268	17.192	17.442	1.94	C12
47	19.583	19.483	19.633	0.36	C11
48	24.438	24.350	24.567	0.85	C12
49	24.689	24.567	24.808	0.48	C12
50	24.938	24.808	25.067	0.66	C12

**Tabel Komposisi Fraksi dalam Bahan Bakar Cair (BBC) hasil sintesis**

<b>Variasi <i>Feed Stock</i></b>	<b>% Feaksi Carbon dalam BBC</b>			
<b>(Plastik % : Nyamplung %)</b>	<b>&lt; C7</b>	<b>C7 – C12</b>	<b>&gt; C12</b>	<b>TT</b>
100 % (P) : 0 % (N)	1.29	98.46	0	0.28
80 % (P) : 20 % (N)	6.97	64.27	1.52	27.25
60 % (P) : 40 % (N)	6.28	72.48	1.47	19.74
50 % (P) : 50 % (N)	8.37	90.8	0.56	0.29
40 % (P) : 60 % (N)	11.28	66.54	0	22.17

<b>Variasi <i>Feed Stock</i></b>	<b>% Komposisi Tiap Fraksi Karbon dalam BBC</b>							
<b>(Plastik % : Nyamplung %)</b>	<b>&lt;C7</b>	<b>C7</b>	<b>C8</b>	<b>C9</b>	<b>C10</b>	<b>C11</b>	<b>C12</b>	<b>&gt;C12</b>
100 % (P) : 0 % (N)	1.29	2.12	14.22	68.75	9.14	2.69	1.54	0
80 % (P) : 20 % (N)	6.97	3.17	12.34	21.96	16.7	2.84	7.26	1.52
60 % (P) : 40 % (N)	6.28	2.6	12.04	37.29	10.46	4.88	5.21	1.47
50 % (P) : 50 % (N)	8.37	3.39	10.15	52.28	11.37	4.2	9.41	0.56
40 % (P) : 60 % (N)	11.28	5.03	12.77	32.91	6.21	3.35	6.27	0

## D.2. Hasil Konversi BBC

**Tabel D. 1** Data Pengukuran % Konversi Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan Katalitik

<b>Variasi Feed Stock</b>	<b>Hasil (mL)</b>	<b>Kokas (mL)</b>	<b>% Konversi</b>	<b>% Kokas</b>
100 % (P) : 0 % (N)	45	162	15	54
80 % (P) : 20 % (N)	85	106	28.333333 33	35.333333 33
60 % (P) : 40 % (N)	56	157	18.666666 67	52.333333 33
50 % (P) : 50 % (N)	48	176	16	58.666666 67
40 % (P) : 60 % (N)	27	198	9	66

## D.3. Hasil Karakterisasi Nilai Kalor BBC

**Tabel D. 2** Data Pengukuran Nilai Kalor Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan Katalitik

<b>Variasi Feed Stock</b>	<b>Kalor (kal/gram)</b>
100 % (P) : 0 % (N)	13491.5625
80 % (P) : 20 % (N)	14138.1875
60 % (P) : 40 % (N)	11841.65
50 % (P) : 50 % (N)	11832.45
40 % (P) : 60 % (N)	11517.1875

#### D.4. Hasil Karakterisasi Densitas BBC

**Tabel D. 3** Data Pengukuran Densitas Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan Katalitik

Variasi <i>Feed</i> <i>Stock</i>	Massa piknomete r kosong (gram)	Massa piknomete r + BBC (gram)	Massa BBC (gram)	Densitas (g/mL)
100 % (P) : 0 % (N)	16.9	24.466	7.566	0.7431
80 % (P) : 20 % (N)	16.8996	24.3313	7.4317	0.7299
60 % (P) : 40 % (N)	16.8996	24.372	7.4724	0.7339
50 % (P) : 50 % (N)	16.8987	24.3313	7.4326	0.7300
40 % (P) : 60 % (N)	16.9048	24.3564	7.4516	0.7318

#### D.5. Hasil Karakterisasi Titik Nyala BBC

**Tabel D. 4** Data Pengukuran Titik Nyala Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan Katalitik

Variasi Feed Stock	Temperatur (°C)
100 % (P) : 0 % (N)	26.1
80 % (P) : 20 % (N)	7.1
60 % (P) : 40 % (N)	11.4
50 % (P) : 50 % (N)	9.4
40 % (P) : 60 % (N)	14.5

## E. Pehitungan

### E.1. Perhitungan Densitas Bahan Bakar Cair

Massa piknometer = 16,9 gram

Massa piknometer + BBC = 24,466 gram

Volume piknometer = 10,182 ml

$$\begin{aligned}\text{Densitas } (\rho) &= \frac{(\text{massa piknometer} + \text{BBC}) - \text{Massa piknometer}}{\text{Volume piknometer}} \\ &= \frac{24,466 \text{ gram} - 16,9 \text{ gram}}{10,182 \text{ ml}} \\ &= 0,743 \text{ gram/ml}\end{aligned}$$

Perhitungan densitas tersebut hasil bahan bakar cair variasi 100 % (P) : 0 % (N). Perhitungan pada masing – masing variasi ditunjukkan pada tabel D.1

**Tabel E. 1** Perhitungan Densitas Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan Katalitik

Variasi <i>Feed Stock</i>	Massa piknometer kosong (g)	Massa piknometer + BBC (g)	Massa BBC (g)	Densit as (g/mL )
100 % (P) : 0 % (N)	16.9	24.466	7.566	0.7431
80 % (P) : 20 % (N)	16.8996	24.3313	7.4317	0.7299
60 % (P) : 40 % (N)	16.8996	24.372	7.4724	0.7339
50 % (P) : 50 % (N)	16.8987	24.3313	7.4326	0.7300
40 % (P) : 60 % (N)	16.9048	24.3564	7.4516	0.7318



## E.2. Perhitungan % Yield Bahan Bakar Cair

Penentuan *yield* volume dan kokas bahan bakar cair ditentukan berdasarkan rasio volume atau kokas produk dan volume plastik polipropilena (*feed*) Adapun perhitungan *yield* dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Yield} &= \frac{\text{Volume BBC}}{\text{Volume Feedstock}} \times 100\% \\ &= \frac{162 \text{ ml}}{300 \text{ ml}} \times 100\% = 54\% \end{aligned}$$

Perhitungan di atas merupakan perhitungan *yield* untuk bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan 100 % (P) : 0 % (N). Dengan cara yang sama maka dapat diperoleh *yield* volume dan *coke* bahan bakar cair (BBC) setiap variasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel D.2

**Tabel E. 2** % Yield Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan Katalitik

Variasi <i>Feed Stock</i>	Hasil (mL)	Kokas (mL)	% Konversi	% Kokas
100 % (P) : 0 % (N)	45	162	15	54
80 % (P) : 20 % (N)	85	106	28.33	35.33
60 % (P) : 40 % (N)	56	157	18.67	52.33
50 % (P) : 50 % (N)	48	176	16	58.67
40 % (P) : 60 % (N)	27	198	9	66

### E.3. Perhitungan % Yield Fraksi Bahan Bakar Cair

Penentuan *yield* bahan bakar cair ditentukan berdasarkan rasio jumlah luas fraksi bensin (target) dan luas total fraksi. Adapun perhitungan *yield* dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Yield} &= \% \text{ area} \times \frac{\text{volume BBC}}{\text{Volume reaktan}} \\ &= 1,57\% \times \frac{45}{300} = 0,2355\% \end{aligned}$$

Perhitungan di atas merupakan perhitungan *yield* fraksi untuk bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan 100 % (P) : 0 % (N). Dengan cara yang sama maka dapat diperoleh *yield* fraksi bahan bakar cair (BBC) setiap variasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel D.3.

**Tabel E. 3** % Yield setiap Fraksi Hidrokarbon Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan Katalitik

Variasi <i>Feed Stock</i>	% area	Volume BBC (mL)	Volume <i>Feedstock</i> (mL)	% Yield
100 % (P) : 0 % (N)				
< C7	1.29	45	300	0.1935
C7 - C12	93.92			14.088
> C12	0			0
Tidak Teridentifikasi	4.82			0.723
80 % (P) : 20 % (N)				
< C7	6.97	85	300	1.9748
C7 - C12	54.27			15.3765
> C12	0.28			0.0793
Tidak Teridentifikasi	38.49			10.9055
60 % (P) : 40 % (N)				

< C7	6.28	56	300	1.1723
C7 - C12	49.65			9.268
> C12	0			0
Tidak Teridentifikasi	44.04			8.2208
50 % (P) : 50 % (N)				
< C7	8.37	48	300	1.3392
C7 - C12	64.98			10.3968
> C12	0			0
Tidak Teridentifikasi	26.67			4.2672
40 % (P) : 60 % (N)				
< C7	11.28	27	300	1.0152
C7 - C12	58.84			5.2956
> C12	0			0
Tidak Teridentifikasi	29.87			2.6883

## F. Standar Baku Mutu Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin

### F.1. ASTM Gasoline

Sifat	Metode	Standar ASTM Gasoline
<b>Sifat Fisik</b>		
Densitas Pada 15 °C (g/cm <sup>3</sup> )	ASTM D 1480	0.72 – 0.78
API Gravity Pada 60 °F	ASTM D 4052	55
Kadar Abu (% berat)	ASTM D 86	-
Kadar Residu Karbon (% berat)	ASTM D 189 - 05	0.14
<b>Sifat Alir</b>		
Viscositas Pada 40 °C (mm <sup>2</sup> /s)	ASTM D 445	1.17
Titik Alir (°C)	ASTM D 97 - 05	-
<b>Sifat Pembakaran</b>		
Nilai Kalor (MJ/Kg)	ASTM D 4809 - 13	42.5
Titik Nyala (°C)	ASTM D 93	42
Titik Lilin (°C)	ASTM D 611 - 04	71
Indeks Diesel		-
<b>Sifat Anti-Knock</b>		
Angka Oktan (MON)	ASTM D 2885	81 – 85
Angka Oktan (RON)		91 – 95
Angka Cetane	ASTM D 613	-
Indeks Anti-Knock		86

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Krisna Adi Nugroho yang dilahirkan di Madiun pada tanggal 9 Juli 1996. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis pernah menempuh pendidikan di SDN 01 Taman, SMPN 2 Madiun, dan SMAN 2 Madiun. Penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Jurusan Kimia Fakultas Ilmu Alam (FIA) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) melalui jalur PKM

Mandiri pada tahun 2014 dan terdaftar sebagai mahasiswa Kimia ITS dengan NRP 01211440000108. Penulis aktif berorganisasi selama menempuh pendidikan di ITS. Penulis pernah menjabat sebagai ketua UKM Basket Departemen kimia periode 2015/2016 dan ketua Dewan Perwakilan Angkatan (DPA) HIMKA-ITS periode 2016/2017. Selain itu, penulis pernah melakukan Kerja Praktek di PT. SMELTING Gresik. Penulis menyelesaikan pendidikannya di Departemen Kimia FMIPA ITS dengan mengambil tugas akhir yang berjudul “Produksi Bahan Bakar Cair Menggunakan Metode Konversi Katalitik Dari Limbah Plastik Polipropilena Dengan Ko-Reaktan Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*)”. yang dibimbing oleh Dr. Hendro Juwono, M.Si. Penulis dapat diajak berdiskusi mengenai tugas akhir maupun topik lainnya dan dapat dihubungi melalui email [krisna.chem.its@gmail.com](mailto:krisna.chem.its@gmail.com).